

DOI: 10.3969/j.issn.1000-7083.2011.03.020

沱江流域宽体沙鳅的胚胎发育

岳兴建¹, 王芳¹, 谢碧文^{1*}, 齐泽民¹, 王滢¹, 何斌², 陈先均²

(1. 内江师范学院生命科学学院, 特色农业资源研究与利用四川省高校重点实验室, 四川内江 641000;

2. 四川省农业科学院水产研究所, 四川宜宾 644002)

摘要:通过人工授精获得受精卵, 利用数码显微镜进行连续观察和拍照记录, 对沱江宽体沙鳅胚胎发育特征进行了详细观察和描述, 并确定了到达各发育期所需的时间。成熟卵直径为 0.9~1.1 mm。受精卵卵膜吸水膨胀之后直径为 1.6~1.9 mm, 半漂流性。卵膜直径较小是区分宽体沙鳅和其他鳅科漂流性鱼卵的标志性特征。水温 23℃±0.5℃, 受精卵历时 27 h 孵出。胚胎发育过程可划分为 7 个阶段、28 个发育期。初孵仔鱼全长约为 3.5~3.8 mm。建议水利工程规划及建设中应该保留满足漂流性卵胚胎发育的足够长的天然河段。

关键词: 宽体沙鳅; 胚胎发育

中图分类号: Q959.4; Q132.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-7083(2011)03-0390-04

Embryonic Development of *Botia reevesae* in Tuojiang River

YUE Xing-jian¹, WANG Fang¹, XIE Bi-wen^{1*}, QI Ze-min¹, WANG Yu¹, HE Bin², CHEN Xian-jun²

(1. School of Chemistry and Life Science, Neijiang Normal University, Key Laboratory of Regional Characteristic Agricultural Resources, Department of Education, Neijiang, Sichuan Province 641000, China; 2. Fisheries Institute of Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Yibin, Sichuan Province 644002, China)

Abstract: The embryonic development of *Botia reevesae*, lives in Tuojiang River, a tributary river of the Yangtze River, was observed and the morphological features and time of the development phases were described in detail under a microscope with digital camera. The diameter of the fertilized egg ranges from 0.9 mm to 1.1 mm and the egg membrane expanded ranging from 1.6 mm to 1.9 mm after the egg absorption of water. The eggs drift in flowing water. The distinctive feature of *B. reevesae* eggs is that the diameter of expanded egg membrane was markedly smaller than other pelagic eggs of Cobitidae fishes. The larvae hatched 27 h after fertilization at water temperature of 23℃±0.5℃. The embryonic development can be divided into 7 phases and subdivided into 28 developing stages. The total body length of newly hatched larvae ranged from 3.5 mm to 3.8 mm. It should reserve long enough natural running water branches for embryonic development of pelagic eggs of Cobitidae fishes in hydraulic planning and construction.

Key words: *Botia reevesae*; embryonic development

宽体沙鳅 *Botia reevesae* Chang, 1944, 隶属鲤形目 Cypriniformes 鳅科 Cobitidae 沙鳅亚科 Botiinae (丁瑞华, 1994), 体表粘液发达, 在产区与中华沙鳅一起被称为“玄鱼”。其肉质细嫩、味道鲜美, 是长江中上游重要经济鱼类, 沱江流域其种群数量居鳅科鱼类之首, 产区市场售价高, 且供不应求。宽体沙鳅体态纤细, 体表斑纹色彩艳丽, 是一种极具观赏价值的鱼类。近年来由于长江中上游干支流水利工程建设等的影响, 使其原有的产卵场、胚胎发育环境以及索饵场受到破坏, 加上过度捕捞、水环境污染等因素,

导致江河资源急剧下降。同时, 宽体沙鳅是长江上游特有鱼类 (丁瑞华, 1994)。特有种是一笔巨大的自然遗产和天然的基因库, 在生物多样性保护, 特别是遗传多样性保护方面具有十分重要的意义。由于宽体沙鳅具有重要的经济价值、生态价值, 其资源衰竭的现状已渐渐引起人们的关注。宽体沙鳅相关基础资料缺乏, 特别是未弄清其繁殖特性, 如性腺发育规律、繁殖习性、产卵条件等关键问题。本研究旨在研究宽体沙鳅胚胎发育各时期的形态、特征及速率, 从而掌握其胚胎发育特性, 为科研及生产提供参考,

收稿日期: 2010-08-23 接受日期: 2010-10-28 基金项目: 四川省教育厅重大培育项目 (09ZZ012); 内江市科技支撑计划项目 (200901); 内江师范学院生态学重点建设学科基金 (2007-24); 四川省教育厅科技创新科研团队基金 (KYTD201009) 资助

作者简介: 岳兴建, 副教授, 研究方向: 渔业生物学, E-mail: silurus@sohu.com

* 通讯作者 Corresponding author, 副教授, E-mail: xiebw6873@163.com

为进一步开展其人工养殖和野生资源的保护打下良好的基础,也为水利工程规划和建设过程中建立漂流性鱼类的保护措施提供基础资料。

1 材料与方 法

2010 年 6、7 月,从长江上游一级支流四川省境内的沱江中游资中段收集宽体沙鳅亲鱼,选择成熟度好的雌雄亲鱼以(1.5~2):1 配比进行催产。绒毛膜促性腺激素(HCG)和促黄体素释放激素类似物(LHRHA₂)混合,1 次注射催产,催产剂量为雌鱼 HCG 10 000 IU/kg 和 LHRHA₂ 100 mg/kg,雄鱼减半。在水温 23℃±0.5℃ 条件下催产后约 12 h 进行人工授精,50 cm×35 cm×35 cm 玻璃水族箱中曝气自来水孵化,孵化水温 23℃±0.5℃,增氧泵供氧。随机取 6 月 29 日 9:00 受精的一批胚胎进行观察。用 Motic SMZ-168 数码显微镜以及 Motic BA 400 显微镜连续观察胚胎发育,用 Moticam 2506 数码成像系统以及 Motic Images Plus 2.0 显微图像分析软件拍摄和处理图像。以 50% 个体发育进入某阶段作为该发育阶段的开始,并记录、拍摄其形态特征等。胚胎发育观察至胚胎出膜时结束。

2 结 果

宽体沙鳅胚胎发育在 23℃±0.5℃ 下历时 27 h,积温 621℃·h。初孵仔鱼全长 3.8 mm 左右。根据其胚胎发育特点可分为受精卵、卵裂、囊胚、原肠胚、神经胚、器官系统发育、出膜等 7 个阶段 28 个时期。

2.1 受精卵及胚盘形成

宽体沙鳅刚受精的卵无粘性。受精卵直径 0.9~1.1 mm,呈灰黄或金黄色。受精后约 15 min,卵膜吸水膨胀出现明显卵周隙。受精后 20 min,卵膜膨胀直径约 1.6~1.9 mm(封 3 图,1)。受精后 5 min,卵内的原生质向动物极移动、集中,在卵黄表面形成隆起的胚盘。胚盘颜色明显较其余部分深。

2.2 卵裂期

受精后 40 min,出现横贯胚盘的卵裂沟,胚盘中央凹陷,此时胚盘第 1 次分为 2 个部分,形成 2 个大小相当的卵裂球,为 2 细胞期(封 3 图,2)。受精 50 min 后,完成第 2 次卵裂,与第 1 次卵裂面垂直纵裂为 4 个前后排列、大小相等的卵裂球,为 4 细胞期(封 3 图,3)。受精后 55 min,8 细胞期,形成两排呈前后排列的 8 个卵裂球(封 3 图,4)。受精后 60 min,16 细胞期,16 个分裂球呈排排列,每排 4 个,为

16 细胞期(封 3 图,5)。受精后 65 min,32 细胞期(封 3 图,6)。受精后 70 min,64 细胞期,64 个分裂球呈排排列,每排 8 个(封 3 图,7)。受精后 120 min,经过细胞的快速分裂,分裂球越来越多,重叠排列,形成一个隆起的细胞团,细胞之间界限清楚,即多细胞期或称桑椹期(封 3 图,8)。

2.3 囊胚期

受精后 140 min,囊胚早期,此时由于细胞进一步分裂,胚胎表面因细胞体积减小形成平滑曲面,细胞之间界限模糊,囊胚层隆起较高,在胚盘处形成较高的囊胚(封 3 图,9)。受精后 200 min,囊胚中期,细胞继续分裂,胚层高度开始下降,囊胚层较囊胚早期低,无明显细胞界限(封 3 图,10)。受精后 230 min,囊胚晚期,囊胚细胞开始下包,胚层变得较薄,沿着卵表层向植物极扩展,胚环局部区域细胞集中增多(封 3 图,11,箭头显示聚集的细胞)。

2.4 原肠期

受精后 300 min,原肠早期,胚层下包卵径 1/2(封 3 图,12),胚环边缘细胞集中加厚而形成三角形胚盾。胚胎表面的分裂球不断进行细胞分裂,同时由于胚层的下包和内卷作用形成胚环。受精后 360 min(6 h),原肠中期,胚层下包至 2/3~3/4(封 3 图,13),胚轴形成。受精后 460 min(7 h 40 min),原肠晚期,胚层下包至 4/5(封 3 图,14)。

2.5 神经胚期

受精后 10 h,胚层下包至卵径 5/6。神经胚期的原肠作用仍然进行,但胚环明显缩小,外露卵黄减少形成大卵黄栓(封 3 图,15),整个胚胎在纵向方向被拉长。

2.6 器官系统发生阶段

2.6.1 小卵黄栓形成 受精后 10 h 30 min,卵黄栓期,胚层进一步下包,外露的卵黄进一步减少形成小卵黄栓(封 3 图,16)。整个胚胎在纵向方向长度稍减小。

2.6.2 胚孔封闭 受精后 11 h 30 min,卵黄栓消失,在卵黄栓末端形成圆形的胚孔,胚孔逐步缩小、封闭(封 3 图,17,箭头示胚孔封闭前胚孔的位置)。此时胚体头端膨大略伸出。整个胚胎在纵向方向长度进一步减小,卵黄囊为规则圆球形。

2.6.3 肌节出现 受精后 12 h 40 min,胚体中部形成 3 对肌节(封 3 图,18、28),胚体头部膨大。卵黄囊为规则圆球形。

2.6.4 眼囊出现期 受精后约 14 h 20 min,胚体头

部前端抬起较高,头部两侧的中央出现椭圆形眼囊(封3图,19),肌节8对,胚体约围绕卵黄的4/5。

2.6.5 尾芽形成 受精后 16 h 40 min,胚体头尾环抱卵黄的7/8,尾部开始膨大,与卵黄囊分离形成尾芽,此时肌节15对(封3图,20)。

2.6.6 尾泡形成 受精后 17 h 10 min,尾泡形成,此时肌节18对(封3图,21)。卵黄囊变为不规则半月形。

2.6.7 尾芽游离,耳囊出现 受精后 18 h,尾芽逐渐游离,耳囊出现。脑部出现两个明显凹曲,将脑部分为3部分。尾泡仍然明显,此时肌节20对(封3图,22)。

2.6.8 肌肉效应期 受精后 19 h 50 min,肌肉效应期,每分钟收缩25~30次。尾泡消失。肌节22对(封3图,23)。此时胚体延长使得头尾部与卵膜接触。卵黄囊尾部突出为“,”形。

2.6.9 心脏原基出现 受精后 20 h 50 min,在胚胎头部和卵黄囊之间可见心脏原基(封3图,24)。此时肌节24对。脑部的端脑和间脑、间脑和中脑、中脑和延脑的分界明显,有较深的凹陷分隔,脑腔透明。

2.6.10 嗅囊、耳石出现 受精后 21 h 20 min,肌肉收缩加强,视杯前方出现嗅囊,耳囊内出现耳石。心脏形成。肌节26对。卵黄囊拉长(封3图,25,去膜)。

2.6.11 心脏搏动期 受精后 23 h 45 min,头部腹下方的心脏开始跳动,平均每分钟12次。此时肌节27对。尾部剧烈摆动使胚胎在卵膜内转动。卵黄囊拉长为洗耳球状(封3图,26,去膜)。

2.7 出膜期 受精后 26 h 10 min 开始出膜,受精后 27 h 约一半出膜,受精后 29 h 全部孵化出膜。出膜时尾部先出膜,其后胶膜层塌陷,其余部分才脱膜。初孵仔鱼身体透明,无色素。全长3.5~3.8 mm,卵黄囊淡黄色,呈一棒球棒状,前面胸腹部处呈球形,占1/3,后面细长,占2/3。胸鳍未出现,眼球无色素。口道未形成,肛门原基出现,消化道尚未贯通(封3图,27)。肌节35对(24+11),心跳90次/min。奇鳍褶形成。侧卧,垂直运动。心脏在卵黄囊背面,耳囊下方。

胚胎发育时序见表1。

3 讨论

3.1 宽体沙鳅卵和胚胎发育特点

目前我国鳅科鱼类早期发育的报道包括有沙鳅

表1 宽体沙鳅胚胎发育(23℃±0.5℃)

Table 1 Embryonic development of *Botia reevesae* (23℃±0.5℃)

阶段 Period	图序 Code	时期 Stage	时间 Time(h, min)	持续时间 Duration
受精卵	1	受精	0	0
	2	胚盘形成	0.5 h	30 min
	3	2 细胞	40 min	10 min
卵裂	4	4 细胞	50 min	10 min
	5	8 细胞	55 min	5 min
	6	16 细胞	1 h	5 min
	7	32 细胞	1 h 5 min	5 min
	8	64 细胞	1 h 10 min	5 min
	9	多细胞	2 h	50 min
囊胚	10	囊胚早期	2 h 20 min	20 min
	11	囊胚中期	3 h 20 min	60 min
	12	囊胚晚期	3 h 50 min	30 min
原肠胚	13	原肠早期	5 h	70 min
	14	原肠中期	6 h	60 min
	15	原肠晚期	7 h 40 min	100 min
神经胚	16	神经胚	10 h	140 min
	17	小卵黄栓期	10 h 30 min	30 min
	18	胚孔封闭	11 h 30 min	60 min
器官系统发生	19	肌节出现	12 h 40 min	70 min
	20	眼囊出现	14 h 40 min	120 min
	21	尾芽形成	16 h 40 min	120 min
	22	尾泡出现	17 h 10 min	30 min
	23	尾芽游离	18 h	50 min
	24	耳泡出现,肌肉效应	19 h 50 min	110 min
	25	心脏原基出现	20 h 50 min	60 min
	26	嗅囊、耳石出现	21 h 20 min	60 min
	27	心脏搏动	23 h 45 min	145 min
	28	出膜期	27 h	195 min

亚科的长薄鳅 *Leptobotia elongata* (梁银铨等,1999)、花斑副沙鳅 *Parabotia fasciata* (杨明生,2004)、花鳅亚科的大鳞副泥鳅 *Paramisgurnus dabryanus* (梁秩燊等,1988)、泥鳅 *Misgurnus anguillicaudatus* (郑文彪,1985)、条鳅亚科的短体副鳅 *Paracobotis potanini* (王宝森等,2008)、安氏高原鳅 *Triplophysa angeli* (王华等,2009)等。与这些鳅科鱼类相比(表2),宽体沙鳅卵径和安氏高原鳅、花斑副沙鳅、泥鳅相当,初孵仔鱼和泥鳅、大鳞副泥鳅、短体副鳅等相当。胚胎发育温度、经历时间等和长薄鳅相似,二者的分布地也一致(目前在沱江也发现性成熟的长薄鳅个体)。但与同是半漂浮性卵的长薄鳅(梁银铨等,1999)、花斑副沙鳅(杨明生,2004)、紫薄鳅 *Leptobotia taeniaps* (唐燕高等,2010)相比较,其受精卵卵膜吸水膨胀之后的卵膜直径明显较小(仅1.6~1.9 mm),这是野外环境区分宽体沙鳅和其他漂流性鱼卵的主要标志性特征。这一特点也提示,该种在自然条件产卵之

表 2 宽体沙鳅与其他鳅类卵的性质、孵化温度和孵化时间的比较
Table 2 The comparison of egg characters, the temperature and time in embryonic development among *Botia reevesae* and other cobitid fishes

种类 Species	卵的性质 Egg feature	卵径 (mm) Egg diameter	半浮性卵 卵膜直径 (mm) Egg membrane diameter	胚胎发育 温度 Temperature	胚胎发育历时 Lasting time	初孵仔鱼体长 Body length of newly hatched larvae	繁殖期 Breeding season
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i> (郑文彪, 1985)	粘性	0.72 ~ 0.84	-	19.5 ~ 23	26 h 40 min	3.5 ~ 4.8 mm	3 ~ 4 月
大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i> (梁秩燊等, 1988)	粘性	0.60 ~ 0.65	-	21.0 ~ 23.0	26 h 35 min	3.6 mm	4 ~ 5 月, 10 月
短体副泥鳅 <i>Paracobitis potanini</i> (王宝森等, 2008)	粘性	2.41 (2.3 ~ 2.53)	-	17 ~ 19	58 h 20 min	3.5 mm	3 ~ 4 月
安氏高原鳅 <i>Triphophysa angeli</i> (王华等, 2009)	粘性	0.87 ~ 1.05	-	9.0 ~ 15.5 (自然) 16.3 ~ 18.1 (人工)	197 h 36 min 119 h 44 min	4.58 mm	7 ~ 8 月
长薄鳅 <i>Leptobotia elongata</i> (梁银铨等, 1999)	漂流卵	1.58 (1.50 ~ 1.66)	3.79 (3.67 ~ 4.0)	22 ~ 23.5	34 h	5.0 mm	5 月
花斑副沙鳅 <i>Parabotia fasciata</i> (杨明生, 2004)	漂流卵	1	2.7	28	12 h 30 min	2.7 mm	6 ~ 8 月
紫薄鳅 <i>Leptobotia taeniaps</i> (唐燕高等, 2010)	漂流卵	1.47 ± 0.1	4.6 ± 0.34	30.5 ~ 31	-	-	4 ~ 7 月
宽体沙鳅 <i>Botia reevesae</i> (本研究)	漂流卵	0.9 ~ 1.1	1.6 ~ 1.9	23	27 h	3.5 ~ 3.8 mm	6 ~ 7 月

表 3 沱江中下游电站自然流水河段长度
Table 3 Length of natural running water branches of the middle and lower reaches of Tuojiang River

序号 Code	电站 Dam	行政区划 Administrative area	河段长 Length (km)	能否满足漂流卵孵化需要 Can supply the need of egg hatch or not	备注 Note
1	九龙滩	金堂	33.6	-	自赵镇起 中游 295 km
2	养马河	金堂	36.5	不能	
3	石桥	简阳	15	不能	
4	猫猫寺	简阳	28	不能	
5	南津驿	资阳	55.4	能	
6	王二溪	资阳	14	不能	
7	上五里店	资中	55.5	能	
8	下五里店	资中	12	不能	
9	天宫堂	内江	45	基本能	2010 蓄水
10	石盘滩	内江	23.5	不能	下游 205 km,
11	黄泥滩	富顺	60.5	能	流滩坝坝
12	黄葛浩	富顺	31	不能	下至河口
13	流滩坝	泸县	66.5	能	23 km

后,需要在比长薄鳅、中华沙鳅更大流速的环境中发育才能保证胚胎漂浮、正常发育,河流水工建设中应该考虑到这个问题以保证宽体沙鳅的胚胎发育需要。宽体沙鳅初孵仔鱼透明,与长薄鳅、花斑副沙鳅相似,体表均无色素细胞。

3.2 宽体沙鳅的资源保护

所有进行繁殖和胚胎发育观察的宽体沙鳅均采自沱江资中段(下五里店水坝下游,2010 年天宫堂水坝蓄水前自然流水长度超过 50 km)。沱江流域规划了 23 级梯级电站(冯广宏,1991),自金堂峡以下的中下游目前已建水电站(或水坝)13 个(表 3)。水电站的建设改变了水文条件,使鱼类原来的生存

环境遭到了严重的破坏,种类数量减少,群落结构简化,分布范围逐渐萎缩(杨丽虎等,2007)。电站的开发,对产漂流性卵鱼类的繁殖产生了尤其重大的影响。鱼类漂流性卵的发育需要一定的自然河段流程满足鱼卵胚胎发育的需要。就宽体沙鳅而言,其胚胎发育温度在 $23^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 条件下发育需要 27 h (最少 26 h 10 min)。沱江流速 $0.7 \sim 1 \text{ m/s}$ (施白南,1990),平均 0.9 m/s (丁瑞华,1994),实际测得在库区段洪水期流速为 $0.1 \sim 0.3 \text{ m/s}$,因此胚胎发育所需自然河段长度应该为 84.78 (65.9 ~ 94.2) km,考虑到库区 $5 \sim 10 \text{ km}$ 的流速较缓,胚胎发育的

(下转第 397 页)

因此比较不同研究结果时应注意取样深度的差异。

分层次计算参数时,深层次易出现 J 值较大的情况。但由此断定深层次健康程度高于表层还有些武断。因为种类数量可能会影响结果。例如,本研究的 BH15 站位,表层线虫种类数明显高于底层的;底层由于线虫种类少(数量也少),种间差异小,所以 J 值偏大。而生物种类和数量的减少可能是由于物理等因素造成,不一定是环境被污染的结果。由于未见小型底栖动物多样性指数的分层报道,还无法进一步比较。综上所述,在利用 J 值等参数来评价环境质量时应该慎重。

3 结语

(1) 线虫种类出现的频率差异较大,生物丰度以 *Dorylaimopsis rabalaisi* 为优势种。由多样性指数可知,调查海域的沉积物虽然受到了一定程度的污染,但污染状况并不恶劣。

(2) 生物多样性参数受沉积物的深度层次影响,对均匀性指数差异尤为明显。因此,在比较均匀性指数等参数和判断环境健康程度时应该考虑取样深度。

(3) 自由生活线虫的鉴定工作需要深入。虽然每年描述的新种有百余种,但是发现、鉴定和描述新种的任务仍然艰巨。本研究的一些线虫并未明确命名,这对深入研究近海线虫的生物多样性也会产生不利影响。

(4) 天津滨海新区将成为我国经济增长的第三极,这意味着其海域将面临高度、快速的开发压力。对该海域的小型底栖动物进行长期研究具有较高的科学意义和应用价值,也可对其他海湾开发提供借鉴。

(上接第 393 页)

河段长度应该在 40(33~45) km(包括 5 km 缓流区域)。就目前的情况看,沱江适宜宽体沙鳅胚胎发育超过 45 km 的自然河段有 5 段(表 3)(采用中国电子地图及 Google Earth 测量)。河流的区段化对产漂流性卵鱼类的影响不容忽视,因此沱江规划中的一些水工建设项目,极需进行详细的环境影响评估,以利于宽体沙鳅、中华沙鳅、长薄鳅、紫薄鳅等产漂流性卵鱼类的繁殖、发育和资源保护。

4 参考文献

丁瑞华. 1994. 四川鱼类志[M]. 成都: 四川科学技术出版社: 6, 98~100.
冯广宏. 1991. 沱江志[M]. 成都: 四川省水利电力厅: 41: 269~274.
梁银铨, 胡小建, 黄道明, 等. 1999. 长薄鳅胚胎发育的观察[J]. 水生生物学报, 23(6): 631~635.

4 参考文献

蔡立哲, 洪华生, 邹朝中, 等. 2000. 台湾海峡南部海洋线虫种类组成及其取食类型[J]. 台湾海峡, 19(2): 212~217.
蔡晓明, 任长久, 宗志祥, 等. 1992. 青龙河底栖无脊椎动物群落结构及其水质评价[J]. 应用生态学报, 3(4): 36.
郭玉清, 张志南, 慕芳红. 2002. 不同采样时期渤海自由生活线虫种类组成的比较[J]. 生态学报, 22(10): 1622~1628.
国家海洋局 908 专项办公室. 2006. 海洋生物生态调查技术规程[M]. 北京: 海洋出版社: 1~90.
黄勇. 2005. 南黄海小型底栖生物生态学和海洋线虫分类学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学博士学位论文: 1~203.
张培玉. 2005. 渤海湾近岸海域底栖动物生态学与环境质量评价研究[D]. 青岛: 中国海洋大学博士学位论文: 1~184.
张青田, 胡桂坤. 2008. 小型底栖生物在海洋生态监测中的应用[J]. 海洋信息, 198: 28~29.
张青田. 2009. 天津近岸海域小型底栖动物生态学研究[D]. 天津: 南开大学博士学位论文: 1~161.
张志南, 周红, 慕芳红. 2001. 渤海线虫群落的多样性及中性模型分析[J]. 生态学报, 21(11): 1808~1814.
Clarke KR, Gorley RN. 2001. PRIMER v5: User manual/tutorial[M]. PRIMER-E, Plymouth UK: 1~91.
Cyedu-Ababio TK, Baird D. 2006. Response of meiofauna and nematode communities to increased levels of contaminants in a laboratory microcosm experiment[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 63(3): 443~450.
Raghukumar C, Bharathi PA, Ansari ZA. 2001. Bacterial standing stock, meiofauna and sediment-nutrient characteristics: indicators of benthic disturbance in the Central Indian Basin[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 48(16): 3381~3399.
Shimnaga M, Nomaki H, Suetsugu K, et al. 2007. Standing stock of deep sea metazoan meiofauna in the Sulu Sea and adjacent areas[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 54(1-2): 131~144.
梁秩葵, 梁坚勇, 陈朝. 1988. 大鳞副泥鳅的胚胎发育及鱼种培养[J]. 水生生物学报, 12(1): 26~42.
施白南. 1990. 四川江河渔业资源和区划[M]. 重庆: 西南师范大学出版社: 18.
唐燕高, 徐大宝, 王运能, 等. 2010. 紫薄鳅的人工繁殖初步试验[J]. 中国水产, (1): 41~42.
王宝森, 姚艳红, 王志坚. 2008. 短体副鳅的胚胎发育观察[J]. 淡水渔业, 38(2): 70~73.
王华, 郭延蜀, 左林, 等. 2009. 安氏高原鳅胚胎和仔鱼发育的观察[J]. 水产科学, 28(12): 721~725.
杨丽虎, 陈进, 黄薇, 等. 2007. 长江上游梯级水电开发情况及对生态环境的影响初探[J]. 中国农村水利水电, 3: 79~81.
杨明生. 2004. 花斑副沙鳅的胚胎发育观察[J]. 淡水渔业, 34(6): 34~36.
郑文彪. 1985. 泥鳅胚胎和幼鱼发育的研究[J]. 水产学报, 9(1): 37~47.