



诸氏鲮虾虎鱼实验动物化研究进展

李建军, 余露军, 蔡磊, 魏远征, 苗宗余, 黄韧*

(广东省实验动物监测所, 广东省实验动物重点实验室, 广东广州 510663)

【摘要】 诸氏鲮虾虎鱼是我国特色海洋鱼类, 具有诸多实验动物培育与应用优势。本文概述了诸氏鲮虾虎鱼的生物学特性、封闭群和近交系培育、质量控制等实验动物化研究进展, 并介绍了诸氏鲮虾虎鱼作为海洋实验鱼类在海洋环境监测、水生态毒理等研究中的应用。结合目前研究和应用现状, 对诸氏鲮虾虎鱼的质量标准化、近交系培育及其在功能基因组等领域的应用进行了展望。

【关键词】 诸氏鲮虾虎鱼; 生物学特性; 近交系; 封闭群

【中图分类号】 Q95-33 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1005-4847(2018) 04-0493-05

Doi:10.3969/j.issn.1005-4847.2018.04.014

Advances in research on *Mugilogobius chulae*, a laboratory marine fish resource

LI Jianjun, YU Lujun, CAI Lei, WEI Yuanzheng, MIAO Zongyu, HUANG Ren*

(Guangdong Laboratory Animals Monitoring Institute; Guangdong Key Laboratory of Laboratory Animals, Guangzhou 510663, China)

Corresponding author: HUANG Ren. E-mail: labking@sohu.com

【Abstract】 *Mugilogobius chulae* is a laboratory marine fish resource with Chinese characteristics. In this paper, we outlined the research on the laboratory marine fish resource of yellowstripe goby (*Mugilogobius chulae*) in biological characteristics, closed colony, inbred strain and method of quality control. Also the development of application of *Mugilogobius chulae* in ocean environment monitoring and aquatic ecotoxicology was reviewed. Three key aspects of application are emphasized in this view, including quality control standards for *Mugilogobius chulae*, the establishment of inbred strain and the further research on the functional genomics.

【Key words】 *Mugilogobius chulae*; biological characteristics; inbred strain; outbred stock

Conflict of interest statement: We declare that we have no conflict of interest statement.

目前; 国外常用实验鱼类有斑马鱼 (*Danio rerio*)、青鳉 (*Oryzias latipes*) 等 10 余种国内除斑马鱼外, 还有剑尾鱼 (*Xiphophorus helleri*)、稀有鮡鲫 (*Gobiocypris rarus*)、实验红鲫 (*Carassius auratus red variety*) 和诸氏鲮虾虎鱼 (*Mugilogobius chulae*) 等^[1], 其中仅诸氏鲮虾虎鱼为海水鱼类。诸氏鲮虾虎鱼, 属于鲈形目 (Perciformes)、虾虎鱼亚目 (Gobioidei)、

虾虎鱼科 (Gobiidae)、鲮虾虎鱼属 (*Mugilogobius*), 为暖水性小型海洋鱼类, 广泛分布于北至日本, 西至中印半岛, 南至菲律宾及印度尼西亚等西太平洋海域, 喜栖息于沿海、河口及潮间带浅水区域^[2]。诸氏鲮虾虎鱼具有体形小、胚胎透明、繁殖量大、繁殖周期短, 饲养简便等特点, 作为一种潜在的海洋实验鱼类, 在水生态毒理评价等领域已有较多研

【基金项目】 国家科技支撑计划项目 (No. 2015BAI09B05); 广东省科技计划项目 (No. 2017B030314171, No. 2017A070702001)。

Funded by National Key Technology Support Program (No. 2015BAI09B05) and Science and Technology Program of Guangdong Province (No. 2017B030314171, No. 2017A070702001)。

【作者简介】 李建军 (1972—), 男, 高级工程师, 研究方向: 水生实验动物标准化。E-mail: lj@gdiami.com

【通信作者】 黄韧 (1959—), 男, 研究员, 研究方向: 实验动物学。E-mail: labking@sohu.com

究^[3-4]。另外,上海、山东、沈阳等多个省市的科研院所和环评机构也利用诸氏鲮虾虎鱼在不同领域开展相关研究,目前诸氏鲮虾虎鱼的应用领域和使用数量呈逐年上升趋势。近年来,国家科技部非常重视鱼类资源动物的实验动物化工作。2013 年,科技部启动国家科技支撑项目:实验动物质量监测体系的完善与检测关键技术研究,其中广东省实验动物监测所和上海实验动物研究中心分别承担诸氏鲮虾虎鱼和斑马鱼的标准化研究任务;2015 年诸氏鲮虾虎鱼资源培育、实验动物化和应用研究等再次列入国家科技支撑项目;长爪沙鼠、裸鼯鼠等资源动物种群的标准化及疾病模型机制研究,这表明诸氏鲮虾虎鱼的研究和应用实践已得到广泛重视和认可。

1 资源培育

1.1 人工驯养与生物学特性研究

广东省实验动物监测所从 20 世纪 90 年代开始由深圳大鹏湾等地沿岸浅水区采集诸氏鲮虾虎鱼进行人工驯养,并系统研究其形态学、组织学、习性、食性、生长^[5]及染色体组型^[6]等生物学特征,实

验数据已上传至国家自然资源平台实验动物资源库。2005 年,在自然海域连续采样获得野生条件下性腺周年发育规律的基础上,以生殖细胞发育为指标,优化生态因子、营养成分和饵料投喂方案,结合催产管理技术策略,最终突破诸氏鲮虾虎鱼室内全人工繁殖技术,获国家发明专利授权(ZL 201410387745.8)。诸氏鲮虾虎鱼发育快(85 d 性成熟),繁殖周期短(15 ~ 20 d),繁殖力强(单次产卵平均 2090 粒,平均孵化率 70%) (表 1),广温,广盐,饲养简便,具有诸多实验动物培育与应用优势。

诸氏鲮虾虎鱼室内稳定、可控培育是其实验动物化的基础。在全面研究诸氏鲮虾虎鱼全年均衡繁育、饵料培育、水处理、适用设施设备及环境因子监测等技术要素的基础上,经多年运行、优化,集成建立包括诸氏鲮虾虎鱼繁育管理、褶皱臂尾轮虫、卤虫、蒙古裸腹溞和单胞藻类等配套饵料生物室内高效培育及其可能携带的病原、有毒有害物质监测、海淡水处理监测及环境因子调控等诸氏鲮虾虎鱼培育综合技术体系,实现诸氏鲮虾虎鱼稳定可控规模化繁育,为其深入研究和推广应用提供基础保障。

表 1 诸氏鲮虾虎鱼产卵量与孵化率*

Table 1 The number of eggs and hatching rate of *M. chulae*

项目 Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
产卵数(粒) Egg number	2839	1385	3550	2325	1128	1173	1899	998	3269	2330
出苗数(尾) Fry number	1845	912	2207	1501	1039	1089	1284	510	2022	1833
孵化率(%) Hatching rate	65	66	62	65	92	93	68	51	62	79

注: * 引自国家科技支撑项目“鱼类实验动物新资源的开发与标准化研究 No. 2015BAI09B05”项目结题报告。

Note. * The data are from Report of National Key Technology Support Program (No. 2015BAI09B05).

1.2 封闭群和近交系培育

封闭群和近交系是满足实验动物不同应用需求、实现其应用价值的重要载体。2009 年始,在国家科技支撑项目和广东省科技项目支持下,本实验室从广东省深圳大鹏湾海域采集诸氏鲮虾虎鱼原始群体,在实验室内驯化养殖后,挑选 500 尾健康诸氏鲮虾虎鱼(100 尾雄鱼、400 尾雌鱼)为封闭群繁殖亲本,严格按照随机交配原则,育成国际上首个海水实验鱼—诸氏鲮虾虎鱼封闭群。封闭群培育过程中,每一代繁殖亲本维持在 1000 尾,总体种群数量维持在 2 万余尾,目前封闭群繁育至第 17 代,未出现明显生长和繁殖退化现象。

2012 年,按照体型、体色等生物学性状差异从诸氏鲮虾虎鱼封闭群挑选亲本作为近交系培育基

础群,严格按照全同胞兄妹交配方式(full-sibling),建立 4 个不同体征诸氏鲮虾虎鱼近交系(分别命名为 SG-CB、SG-DB、OG-B、OG-D),最高近交代数已达第 12 代(OG-B 系),亲本数量 6000 余尾。采用 20 个优选的微卫星(SSR)标记,利用 STR 分型技术对诸氏鲮虾虎鱼封闭群和近交系进行连续遗传监测,各群体遗传背景清晰明确。建成国内外规模最大的海水实验鱼种源基地,年生产量超过 200 万尾,对外供应量超 20 万尾。

2 质量控制

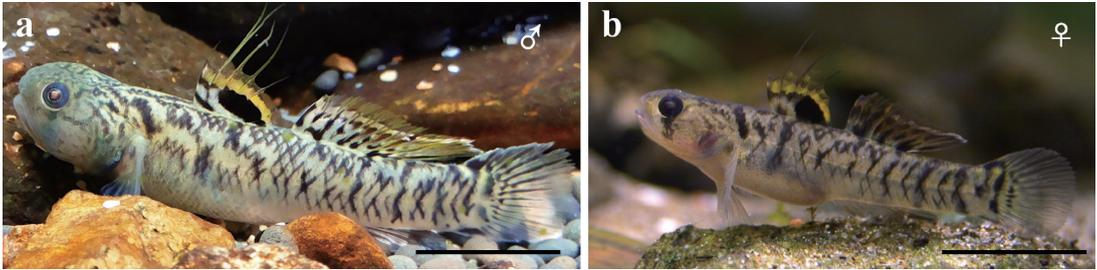
标准化是实验动物区别于其他动物的重要特征,也是实验动物推广应用的基本条件。迄今为止,我国尚无海水实验鱼质量控制标准。2009 年,

《实验动物 鱼类环境与质量控制标准》国家标准获得立项(编号 20091329-T-469)。随后诸氏鲮虾虎鱼种质、遗传、微生物和寄生虫、饲料及环境设施等方面的质量控制技术研究全面展开。

2.1 遗传

依据诸氏鲮虾虎鱼分类鉴定资料^[2,7]和实测数据,诸氏鲮虾虎鱼的形态特征参数为:体呈纺锤形,头扁平,体被圆鳞,第一背鳍下的颈背部有斜行带状条纹,尾鳍基部有两个垂直排列的圆形或椭圆形

斑点,第一背鳍第二至第四鳍棘末端延长呈丝状,以第二和第三鳍棘最长(图 1);第一背鳍具 5 ~ 6 鳍棘,第二背鳍具 1 鳍棘 6 ~ 9 鳍条,臀鳍具 1 鳍棘 5 ~ 9 鳍条,胸鳍 12 ~ 17 鳍条,腹鳍具 1 鳍棘 7 ~ 11 鳍条;纵列鳞 28 ~ 30,横列鳞 8,背鳍前鳞 11 ~ 14。诸氏鲮虾虎鱼雌、雄个体的体长和体重无明显差异,雄鱼的头长显著大于雌鱼($P < 0.05$)^[5],性成熟的雌鱼腹部更为膨大(图 1-b)。



注:a. 雄鱼,200 日龄,体重 0.72 g,体长 3.27 cm;b. 雌鱼,200 日龄,体重 0.34 g,体长 2.70 cm。(bar = 1 cm)

图 1 诸氏鲮虾虎鱼

Note. a. Male, 200 d, 0.72 g in body weight (BW) and 3.27 cm in total length (TL). b. Female, 200 d, 0.34 g in body weight (BW) and 2.70 cm in total length (TL). Scale bar = 1 cm.

Figure 1 Gross appearance of *Mugilogobius chulae*

由于虾虎鱼个体小,种类多(虾虎鱼科多达 1800 余种,仅鲮虾虎鱼属就有 32 种),体色退化、鳍条残缺情况常见,仅凭形态特征,难免误判。因此,在形态学种类鉴定方法的基础上,通过测定、验证诸氏鲮虾虎鱼及其近缘种的全线粒体 DNA 序列^[8-9],建立基于 DNA 条形码技术的诸氏鲮虾虎鱼种质鉴别方法。

采用磁珠富集法、转录组测序及简化基因组测序(RAD-seq)技术,获得诸氏鲮虾虎鱼多态性 SSR 标记,并对诸氏鲮虾虎鱼野生群和封闭群进行 STR 分型检测,优选 20 对 SSR 标记,建立基于无偏期望杂合度/纯合度的诸氏鲮虾虎鱼遗传质量监测方法,为诸氏鲮虾虎鱼遗传质量评估提供依据^[10-11]。

诸氏鲮虾虎鱼封闭群和野生群 STR 分型结果显示,其平均等位基因数(N_a)和平均有效等位基因数(N_e)分别为 7.3500 和 8.700、3.6824 和 4.0188,平均期望杂合度(H_e)分别为 0.6924 和 0.7197。诸氏鲮虾虎鱼封闭群和野生群遗传多样性均较为丰富,诸氏鲮虾虎鱼封闭群遗传多样性低于野生群。诸氏鲮虾虎鱼封闭群遗传杂合度在 0.5 ~ 0.7 之间,符合实验动物封闭群杂合度要求。诸氏鲮虾虎鱼近交群体 STR 分型结果显示,SG 系近交群体第 1

代、第 4 代和第 7 代平均期望遗传纯合度(EHom)分别为 0.4940、0.6629 和 0.6748;OG 系近交群体第 1 代、第 2 代、第 5 代和第 8 代平均期望遗传纯合度分别为 0.4264、0.5587、0.6510 和 0.6897。

2.2 微生物与寄生虫

对诸氏鲮虾虎鱼野生群和封闭群 110 个样本病原调查(表 2)及致病性分析结果表明,迟缓爱德华氏菌(*Edwardsiella tarda*)、创伤弧菌(*Vibrio vulnificus*)^[12]、河流弧菌(*Vibrio fluvialis*)、嗜水气单胞菌(*Aeromonas hydrophila*)为诸氏鲮虾虎鱼野生环境下常见病原(表 2)^[12]。驯养过程诸氏鲮虾虎鱼曾感染副溶血弧菌(*Vibrio parahaemolyticus*)、眼点淀粉卵鞭虫(*Amyloodinium ocellatum*)、匹里虫(*Pleistophora* spp.)等病原。在此基础上,制定诸氏鲮虾虎鱼病原监控要求,并验证了相关病原检测方法。根据 2008 年农业部公告《一、二、三类动物疫病病种名录》和病原对诸氏鲮虾虎鱼的致病性,拟将嗜水气单胞菌、迟缓爱德华菌、刺激隐核虫、眼点淀粉卵鞭虫列为普通级(CV)诸氏鲮虾虎鱼监测病原,将创伤弧菌、副溶血环境、河流弧菌、匹里虫列为无特定病原体级(SPF)诸氏鲮虾虎鱼监测病原。

表 2 诸氏鲮虾虎鱼微生物和寄生虫检测结果*

Table 2 Results of microbiological and parasitological detection of the *M. chulae*

日期 Time	样本来源 Sample	样本数 Sample number	检测结果 Results
2014 年 10 ~ 12 月 Oct ~ Dec, 2014	野生群 Wild group	20	迟缓爱德华菌 (<i>E. tarda</i>) (2)
2015 年 1 月 Jan, 2015	封闭群 Closed colony	5	/
	野生群 Wild group	5	/
3 月 Mar	封闭群 Closed colony	5	/
	野生群 Wild group	5	溶藻弧菌 (<i>V. alginolyticus</i>) (1)
4 月 Apr	野生群 Wild group	5	/
5 月 May	封闭群 Closed colony	5	温和气单胞菌 (<i>A. sobria</i>) (3), 美人鱼发光杆菌 (<i>Photobacterium damsela</i>) (1), 恶臭假单胞菌 (<i>Pseudomonas putida</i>) (1)
	野生群 Wild group	5	河流弧菌 (<i>V. fluvialis</i>) (2)
6 月 Jun	野生群 Wild group	5	嗜水气单胞菌 (<i>A. hydrophila</i>) (3)
7 月 Jul	封闭群 Closed colony	10	/
	野生群 Wild group	10	迟缓爱德华菌 (<i>E. tarda</i>) (3)
8 月 Aug	野生群 Wild group	10	创伤弧菌 (<i>V. vulnificus</i>) (3), 少动鞘氨醇单胞菌 (<i>Sphingomonas paucimobilis</i>) (1)
12 月 Dec	封闭群 Closed colony	10	腐败希瓦菌群 (<i>Shewanella putrefaciens group</i>) (1)
	野生群 Wild group	10	迟缓爱德华菌 (<i>E. tarda</i>) (2)

注: * 引自国家科技支撑项目“鱼类实验动物新资源的开发与标准化研究 No. 2015BAI09B05”项目结题报告。

Note. * The data are from the Report of National Key Technology Support Program (No. 2015BAI09B05).

2.3 营养与饲料

比较了不同配方配合饲料和生物饲料对诸氏鲮虾虎鱼生长、发育和繁殖的影响^[13-14], 确定了诸氏鲮虾虎鱼配方饲料适宜粗蛋白含量为 42% ~ 48%、粗脂肪含量 $\geq 6\%$ 、粗纤维 $\geq 5\%$ 、粗灰分 $\leq 16\%$ 、钙 $\leq 3.5\%$ 、总磷为 1.0% ~ 1.6%。30 日龄前的仔、稚鱼投喂褶皱臂尾轮虫, 其后的幼、成鱼及亲鱼投喂肉虫无节幼体可满足其营养需求。诸氏鲮虾虎鱼饲料配方获国家发明专利: 一种诸氏鲮虾虎鱼生长配合饲料及其制备方法 (ZL 201610525654.5)。

2.4 环境设施

通过研究诸氏鲮虾虎鱼适宜盐度、pH 范围及非离子氨、亚硝酸盐氮对诸氏鲮虾虎鱼仔鱼的安全浓度, 结合多年养殖过程中的环境监测数据, 诸氏鲮虾虎鱼养殖的适宜环境因子为: 水温 22 ~ 30℃、日温差 $\leq 4\text{℃}$ 、瞬时温差 $\leq 2\text{℃}$ 、pH 7.5 ~ 8.5、溶解氧 $\geq 6.0 \text{ mg/L}$ 、盐度为 10‰ ~ 30‰、非离子氨 $\leq 0.04 \text{ mg/L}$ 、亚硝酸盐 (NO_2^-) $\leq 0.4 \text{ mg/L}$ 、水面照度为 54 ~ 324 lx、昼夜明暗交替时间为 14 ~ 12 h/10 ~ 12 h。改进后的斑马鱼循环水养殖系统 (海水腐蚀性强; 更换部分防腐材质) 可用于饲养 30 日龄以上的诸氏鲮虾虎鱼。

3 应用

3.1 海洋油气开发排海废物毒性检测

在大量开展海洋石油钻井液^[3]、生产水、标准毒物^[15]等对诸氏鲮虾虎鱼的毒性试验的基础上, 建立诸氏鲮虾虎鱼急性毒性试验方法, 为诸氏鲮虾虎鱼的海洋石油勘探开发污染物生物毒性评价应用提供了技术依据。诸氏鲮虾虎鱼毒性试验设施获国家实用新型专利: 一种水生生物养殖及毒性试验用恒温水浴槽 (ZL 201620925426.2)。目前, 虾虎鱼已被 GB/T 18420.2-2009“海洋石油勘探开发污染物生物毒性第 2 部分: 检验方法”和 GB 30980-2014“海洋倾废物评价规范 疏浚物”推荐为生物毒性评价受试生物, 国内多家海洋环境监测机构应用虾虎鱼开展相应的检验工作, 仅南海海域海洋石油勘探开发污染物生物毒性检测虾虎鱼年使用量超过 30 万尾。相当于其他虾虎鱼, 诸氏鲮虾虎鱼具有诸多应用优势, 随着海洋油气产业的持续快速发展和国家海洋环保监管部门对海洋环境日益严格的要求, 诸氏鲮虾虎鱼在海洋石油勘探开发污染物、疏浚泥等生物毒性评价中的应用需求将呈增加趋势。此外, 诸氏鲮虾虎鱼摄食抑制效应试验方法在标准毒物十二烷基硫酸钠、重铬酸钾

及典型海洋石油勘探开发污染物的生物毒性评价中得到验证,对提高该类污染物生物毒性检测的敏感性和时效性具有重要意义,该方法获国家发明专利:一种基于水生动物摄食抑制制度测定水污染物的方法(ZL 201610529697.0)。

3.2 重金属毒理学研究

海淡水环境的差异,如盐度和离子差异等,直接影响重金属等污染物的结构形态或解吸附效应等,从而改变污染物的毒性大小,诸氏鲮虾虎鱼作为海洋水生态毒理评价模型具有淡水实验鱼类不可替代的作用。李建军等^[16]、Cui 等^[17]研究了 Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Cr^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 等对诸氏鲮虾虎鱼的单一和联合毒性效应,Guo 等^[4]、Zhang 等^[18]研究了镉和砷在诸氏鲮虾虎鱼体内的累积毒性效应和迁移规律;Miao 等^[19]筛选了诸氏鲮虾虎鱼肠道 HSP70 基因作为水体中重金属检测的分子标志物,为诸氏鲮虾虎鱼对水环境中重金属的急、慢性毒性评价应用积累了相关资料。

3.3 多环芳烃 PHAs、内分泌干扰物等毒性评价

以诸氏鲮虾虎鱼为模型,Cai 等^[20]对诸氏鲮虾虎鱼苯并芘暴露的转录组进行了分析和研究,筛选诸氏鲮虾虎鱼 CYP2K3、PAP 和 MRP1 基因作为海洋多环芳烃检测的分子标志物,该方法已申报国家发明专利:一种利用基因表达变化快速检测海水或海洋沉积物中多环芳烃的方法(申请号:CN201710654529.9)。余露军等^[21]研究了雌二醇 E_2 对诸氏鲮虾虎鱼的遗传毒性效应;Li 等^[22]评价了纳米 ZnO 对诸氏鲮虾虎鱼胚胎的致死、致畸等发育毒性效应;蔡文超等^[23]探讨了海洋石油钻井液对诸氏鲮虾虎鱼抗氧化酶的影响,为诸氏鲮虾虎鱼对水环境污染物的毒性评价应用提供了基础资料。

3.4 疾病感染模型

建立了诸氏鲮虾虎鱼迟缓爱德华菌感染模型,对其敏感性、病理特征进行了比较研究,分析了温度、盐度、pH 等环境因子对其易感性的影响,为感染模型的标准化提供了技术依据。此外,通过 GFP 标记技术探讨了迟缓爱德华菌对诸氏鲮虾虎鱼的感染动力学,为诸氏鲮虾虎鱼在感染机制、药物评价等方面的研究提供了基础数据(待发表)。

4 展望

4.1 诸氏鲮虾虎鱼质量标准制定

目前,诸氏鲮虾虎鱼种质、遗传、微生物和寄生

虫、饲料及环境设施等的质量控制技术已在实验室验证、实施多年,其标准化进程亟待推进,应尽快制定相应的国家标准,为诸氏鲮虾虎鱼的质量控制及其应用提供保障。

4.2 近交系培育及应用

近交系实验动物是生命科学研究重要的实验材料。目前多个诸氏鲮虾虎鱼近交系仍处在培育之中,其“个性化”生物学特征也有待进一步分析和挖掘。鱼类实验动物近交系培育是一个周期长、投入大的工程,目前广东省实验动物监测所已在诸氏鲮虾虎鱼的研发应用和近交系培育上打下坚实基础,为尽早培育多个遗传纯度高、满足不同科研需求的近交系,还需政府及有关单位群策群力,加大支持力度。

4.3 功能基因组开发及应用

诸氏鲮虾虎鱼全基因组测序工作已启动。诸氏鲮虾虎鱼全基因组信息将提供大量重要性状相关的功能基因和分子标记,有利于从功能基因组角度揭示鱼类生长、发育、营养、代谢、繁殖、遗传、免疫等重要生命现象的分子机制,有利于拓展诸氏鲮虾虎鱼在海水鱼育种、疾病模型、药物筛选、功能基因及转基因工具鱼等模式动物研究领域的应用。

参 考 文 献(References)

- [1] 吴端生. 实验红鲫标准化研究与应用现状及展望[J]. 实验动物科学, 2016, 33(3): 56-60.
Wu DS. Current situation and prospect of the standardization research and application of laboratory red crucian carp [J]. Lab Animal Sci, 2016, 33(3): 56-60.
- [2] 伍汉霖,钟俊生,陈义雄,等. 中国动物志硬骨鱼纲鲈形目(五): 虾虎鱼亚目[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 497-499.
Wu HL, Zhong JS, Chen YX, et al. Fauna sinica, Ostichthyces, Perciformes (V), Gobioidae [M]. Beijing, China: Science Press, 2008: 497-499.
- [3] 李建军,吴美慧,叶惠欣,等. 不同发育期诸氏鲮虾虎鱼对钻井液的敏感性比较[J]. 中国比较医学杂志, 2013, 23(4): 48-51.
Li JJ, Wu MH, Ye HX, et al. Comparison of the sensitivity of *Mugilogobius chulae* at different developmental stages to drilling fluid [J]. Chin J Comp Med, 2013, 23(4): 48-51.
- [4] Guo Z, Gao N, Wu Y, et al. The simultaneous uptake of dietary and waterborne Cd in gastrointestinal tracts of marine yellow stripe goby *Mugilogobius chulae* [J]. Environ Pollut, 2017, 223(4): 31-41.
- [5] 李建军,陈小曲,林忠婷,等. 诸氏鲮虾虎鱼的形态与生长特性分析[J]. 实验动物与比较医学, 2012, 32(4): 334-340.

- Li JJ, Chen XQ, Lin ZT, et al. Analysis on morphology and growth characteristics of *Mugilogobius chulae* [J]. Lab Animal Comp Med, 2012, 32(4): 334-340.
- [6] 陈小曲, 黄韧, 李建军. 诸氏鲮虾虎鱼染色体组型分析 [J]. 热带海洋学报, 2013, 32(6): 88-95.
- Chen XQ, Huang R, Li JJ. Study on the karyotype of *Mugilogobius chulae* [J]. J Trop Oceanogr, 2013, 32(6): 88-95.
- [7] Huang SP, van Oijen MJP, Huang KY, et al. Redescription of *Gobius gastrospilos* Bleeker, 1853 with comments on four newly recorded species of brackish gobies from Taiwan [J]. J Marine Sci Technol, 2013, 21: 94-105.
- [8] Cai L, Huang R, Yu LJ, et al. Complete mitochondrial genome of *Mugilogobius chulae* (Perciformes: Gobiidae) [J]. Mitochondrial DNA Part A, 2016, 27(6): 4054-4055.
- [9] Cai L, Huang R, Li JJ. Complete mitochondrial genome and the phylogenetic position of the *Mugilogobius myxodermus*: an endemic freshwater gobiid fish in China [J]. Mitochondrial DNA Part B, 2017, 2(2): 615-617.
- [10] 蔡磊, 陈小曲, 郑伟强, 等. 诸氏鲮虾虎鱼多态性微卫星标记的开发及评价 [J]. 中国实验动物学报, 2015, 23(1): 57-62.
- Cai L, Chen XQ, Zheng WQ, et al. Isolation and characterization of polymorphic microsatellite markers in *Mugilogobius chulae* [J]. ACTA Lab Anim Sci Sin, 2015, 23(1): 57-62.
- [11] 蔡磊, 余露军, 陈小曲, 等. 诸氏鲮虾虎鱼转录组序列中微卫星标记的初步筛选及特征分析 [J]. 生物技术通报, 2015, 31(9): 146-151.
- Cai L, Yu LJ, Chen XQ, et al. A Preliminary screening and characteristic analysis of microsatellite markers from transcriptome sequences in *Mugilogobius chulae* [J]. Biotechnol Bull, 2015, 31(9): 146-151.
- [12] 余露军, 蔡磊, 陈小曲, 等. 诸氏鲮虾虎鱼致病性创伤弧菌的分离与鉴定 [J]. 动物医学进展, 2015, 36(9): 51-54.
- Yu LJ, Cai L, Chen XQ, et al. Isolation and identification of pathogenic *Vibrio vulnificus* from diseased *Mugilogobius chulae* [J]. Progr Veter Med, 2015, 36(9): 51-54.
- [13] 魏远征, 林忠婷, 李建军, 等. 不同饲料对诸氏鲮虾虎鱼生长和利用效果的影响 [J]. 中国比较医学杂志, 2016, 26(1): 29-36.
- Wei YZ, Lin ZT, Li JJ, et al. Effect of dietary nutrient level on the growth and feed utilization of *Mugilogobius chulae* [J]. Chin J Comp Med, 2016, 26(1): 29-36.
- [14] 魏远征, 林忠婷, 李建军. 诸氏鲮虾虎鱼幼鱼饲料纤维素适宜含量的初步研究 [J]. 广东农业科学, 2017, 44(1): 149-155.
- Wei YZ, Lin ZT, Li JJ. Preliminary study on suitable cellulose content in formulated diet for juvenile *Mugilogobius chulae* [J]. Guangdong Agr Sci, 2017, 44(1): 149-155.
- [15] 李建军, 黄韧. 不同发育阶段诸氏鲮虾虎鱼对水污染物的敏感性比较 [J]. 实验动物与比较医学, 2013, 33(5): 354-357.
- Li JJ, Huang R. Comparison of the sensitivity of *Mugilogobius chulae* at different developmental stages to aquatic pollutants [J]. Lab Animal Comp Med, 2013, 33(5): 354-357.
- [16] 李建军, 林忠婷, 陈小曲, 等. 四种重金属离子对诸氏鲮虾虎鱼的单一和联合毒性 [J]. 海洋环境科学, 2014, 33(2): 236-241.
- Li JJ, Lin ZT, Chen XQ, et al. Single and joint toxicity of four heavy metal ions on *Mugilogobius chulae* [J]. Marine Environm Sci, 2014, 33(2): 236-241.
- [17] Cui Z, Luan X, Jiang H, et al. Application of a bacterial whole cell biosensor for the rapid detection of cytotoxicity in heavy metal contaminated seawater [J]. Chemosphere, 2018, 200: 322-329.
- [18] Zhang W, Zhang L, Wang WX. Prey-specific determination of arsenic bioaccumulation and transformation in a marine benthic fish [J]. Sci Total Environm, 2017, 586: 296-303.
- [19] Miao ZY, Li JJ, Yu LJ, et al. Cloning and characterization of a heat shock protein 70 gene from the yellowstripe goby, *Mugilogobius chulae*: Evidence for its significance in biomonitoring of environmental pollution [J]. Gene Reports, 2018, 11: 170-178.
- [20] Cai L, Li JJ, Yu LJ, et al. De novo transcriptome assembly of the new marine fish model of goby, *Mugilogobius chulae* [J]. Marine Genom, 2018, doi:10.1016/j.margen.2018.02.001.
- [21] 余露军, 蔡磊, 李舸, 等. 诸氏鲮虾虎鱼卵黄蛋白原基因全长 cDNA 的克隆及表达 [J]. 海洋科学, 2016, 40(09): 23-31.
- Yu LJ, Cai L, Li G, et al. Full-length cDNA cloning and expression analysis of vitellogenin gene in *Mugilogobius chulae* [J]. Marine Sci, 2016, 40(09): 23-31.
- [22] Li JJ, Chen ZM, Huang R, et al. Toxicity assessment and histopathological analysis of nano-ZnO against marine fish (*Mugilogobius chulae*) embryos [J]. J Environ Sci, 10 February 2018, doi:10.1016/j.jes.2018.01.015.
- [23] 蔡文超, 陈小曲, 李建军, 等. 水基钻井液对诸氏鲮虾虎鱼抗氧化酶的影响 [J]. 中国比较医学杂志, 2014, 24(2): 16-19.
- Cai WC, Chen XQ, Li JJ, et al. Effect of waterbased drilling fluid exposure on the activity of antioxidant enzymes in *Mugilogobius chulae* [J]. Chin J Comp Med, 2014, 24(2): 16-19.