

## 三角帆蚌种质资源研究进展

汪桂玲<sup>1,2</sup>, 白志毅<sup>1,2</sup>, 刘晓军<sup>1,2</sup>, 李家乐<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 上海海洋大学农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306;

2. 上海海洋大学上海市水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306;

3. 上海海洋大学上海高校水产养殖学 E 研究院, 上海 201306)

**摘要:** 三角帆蚌是我国优良的淡水育珠蚌, 具有重要的经济价值。本文从我国三角帆蚌种质资源调查、搜集与保护出发, 介绍了三角帆蚌 RAPD、SSR 及线粒体基因片段等不同分子标记开发状况, 重点讨论了这些分子标记分析三角帆蚌遗传多样性的情况。比较了我国五大淡水湖泊三角帆蚌种质及 3 个优秀种质 9 个 F<sub>1</sub> 后代的生长性能, 比较了三角帆蚌雌雄生长差异。简述了三角帆蚌珍珠质形成相关基因、免疫相关基因、贝壳及珍珠颜色相关基因的研究现状。从三角帆蚌与其他蚌类种间杂交、三角帆蚌种内杂交, 介绍了培育康乐蚌新品种的过程及三角帆蚌家系选育的进展情况。对今后进一步开展三角帆蚌种质资源研究提出了意见和建议, 为三角帆蚌遗传改良提供了基础资料。

**关键词:** 三角帆蚌; 种质资源; 遗传多样性; 基因资源; 种质创新

**中图分类号:** Q 347; S 9663.2

**文献标志码:** A

我国是世界第一产珠大国, 目前珍珠年产量约 1 200 t, 占世界珍珠总产量的 80% 以上, 而在这 1 200 吨的产量中, 淡水珍珠占 95% 以上, 其中淡水珍珠中 80% 以上是由三角帆蚌 (*Hyriopsis cumingii*) 育出。三角帆蚌隶属于软体动物门 (Mollusca), 双壳纲 (Bivalvia), 蚌目 (Unionida), 蚌科 (Unionidae), 帆蚌属 (*Hyriopsis*), 别名三角蚌、水壳等。三角帆蚌为我国特有种, 分布于河北、山东、安徽、江苏、浙江、江西、湖北和湖南等省大、中、小型湖泊及其周围河流内。目前我国学者对三角帆蚌种质资源调查、搜集与保护、三角帆蚌种质遗传多样性研究、三角帆蚌不同种质生长性能比较研究、三角帆蚌基因资源研究及种质创新等种质资源方面开展了较多的工作, 现将研究工作进展做一综述, 旨在为我国三角帆蚌种质资源的保护与利用提供参考依据。

### 1 三角帆蚌种质资源调查、搜集与保存

三角帆蚌属于蚌科。全球蚌科有 142 属 600 多种, 其中北美和亚洲种类较多<sup>[1]</sup>。中国的蚌科动物种类非常丰富, 较早的研究表明, 中国有 140 余种蚌, 20 世纪刘月英等<sup>[2]</sup>对我国淡水蚌进行了大量的调查, 描述了 40 多种蚌。其中, 三角帆蚌为我国特有种, 分布于长江和黄河流域大、中、小型湖泊及其周围河流内。在洞庭湖、鄱阳湖、太湖、洪泽湖及高宝湖等湖泊及其周围河流内, 产量较高<sup>[3]</sup>。

由于缺乏全国性的资源调查, 目前我国三角帆蚌总体资源情况还不是很明确。20 世纪 80 年代, 有学者对鄱阳湖三角帆蚌资源进行了调查, 发现 1989 年的三角帆蚌资源量比 1979 年减少明显<sup>[4]</sup>, 在鄱阳湖的 19 个河道湖区中有 7 个湖区未发现三角帆蚌<sup>[5]</sup>。据山东省 1979—1984 年对南四湖及东平湖的调查, 证实由于 70 年代对贝类的

收稿日期: 2014-06-03 修回日期: 2014-07-23

资助项目: 国家科技支撑计划(2012BAD26B04); 国家自然科学基金(31101939); 上海市教委科研创新重点项目(13ZZ128); 上海高校知识服务平台项目(ZF1206)

通信作者: 李家乐, E-mail: jlli@shou.edu.cn

滥捕,致使资源衰退<sup>[6]</sup>。近年来,由于水环境衰退以及国际市场对珍珠的大量需求,加剧了野生贝类的濒危状况。另外根据一些研究者的调查,在过去盛产三角帆蚌的我国五大淡水湖泊,原种数量已大为减少,有些地方已很难找到<sup>[7]</sup>。

本实验室率先在国内系统开展三角帆蚌种质资源的搜集和保存工作,建立了三角帆蚌 DNA 基因资源库,主要采集了我国五大淡水湖泊鄱阳湖、洞庭湖、太湖、巢湖和洪泽湖等野生群体的三角帆蚌,在上海、浙江诸暨和金华、江苏吴江等地建立了三角帆蚌活体保存库<sup>[8-10]</sup>。

## 2 三角帆蚌种质遗传多样性研究

### 2.1 同工酶标记技术

同工酶标记的应用主要集中在三角帆蚌、池蝶蚌(*H. schlegelii*)及杂交 F<sub>1</sub> 代的种质特异性与组织特异性分析。池蝶蚌与三角帆蚌同属帆蚌属(日本称为池蝶蚌属),是原产于日本的优良淡水育珠蚌,1997 年引进中国<sup>[11]</sup>。多种同工酶研究结果揭示,三角帆蚌与池蝶蚌的多种同工酶均存在组织特异性<sup>[12]</sup>、超氧化歧化酶(SOD)和酯酶(EST)酶谱间存在不同程度的种间差异,可作为鉴定池蝶蚌与三角帆蚌的遗传标记<sup>[13]</sup>。

三角帆蚌的遗传多样性较池蝶蚌丰富,三角帆蚌的遗传变异也高于池蝶蚌<sup>[14]</sup>,这可能是由于引进池蝶蚌群体数量较小,长期近交导致遗传多样性下降。利用同工酶技术对三角帆蚌与池蝶蚌及其杂种 F<sub>1</sub> 进行的研究发现,超氧化歧化酶、酯酶可以明显地区分三角帆蚌、池蝶蚌及其正反杂交组合,该研究为种质鉴别提供了参考<sup>[13]</sup>。

### 2.2 RAPD 分子标记技术

RAPD 技术较早运用于三角帆蚌及其相似种的鉴别<sup>[15]</sup>。应用 RAPD 技术研究我国五大淡水湖泊(鄱阳湖、洞庭湖、太湖、洪泽湖和巢湖)三角帆蚌群体遗传多样性和遗传结构<sup>[16]</sup>,结果发现,鄱阳湖、洞庭湖和太湖等 3 个群体遗传多样性较高,可作为选育基础群。在此工作基础上,运用 RAPD 标记技术,对三角帆蚌鄱阳湖、洞庭湖和太湖等 3 群体 9 个 F<sub>1</sub> 组合的多态性进行了分析,结果表明杂交组合的遗传多样性高于自交组合<sup>[17]</sup>。三角帆蚌太湖野生群体和养殖群体的 RAPD 遗传多样性分析结果显示,三角帆蚌养殖群体遗传多样性比野生群体有所下降<sup>[18]</sup>。

### 2.3 SSR 和 ISSR 分子标记

2006 年,本实验室开发了第一批三角帆蚌 SSR 标记<sup>[19]</sup>,此后又陆续开发了大量的 SSR<sup>[20]</sup>,运用这些标记对鄱阳湖野生群体和 2 个养殖群体遗传多样性作了比较研究<sup>[21]</sup>。运用 ISSR 技术分别对洞庭湖、太湖、巢湖、洪泽湖及鄱阳湖内进贤、余干、珠湖、都昌、湖口、永修合计 10 个群体三角帆蚌的遗传多样性和亲缘关系进行了研究,研究结果均表明,鄱阳湖群体、洞庭湖群体和太湖群体遗传多样性较高,可作为育种基础群<sup>[22]</sup>。有些研究者还用微卫星标记研究了三角帆蚌、褶纹冠蚌(*Cristaria plicata*)、洞穴丽蚌(*Lamprotula caveata*)、射线裂脊蚌(*Schistodesmus lampreyanus*)和中国尖嵴蚌(*Acuticosta chinensis*)等 5 种淡水蚌的分子进化关系和遗传多样性<sup>[23]</sup>,结果显示三角帆蚌和褶纹冠蚌遗传距离最大,射线裂脊和洞穴丽蚌遗传距离最小。

### 2.4 线粒体 DNA 片段和核基因片段

蒋文坪<sup>[24]</sup>测定并分析了三角帆蚌线粒体基因组全序列,李家乐等<sup>[25]</sup>,王建军等<sup>[26]</sup>运用线粒体 DNA Col,16S rRNA 和核基因 DNA 内转录间隔区 ITS-1 序列片段,分别对洞庭湖、太湖、巢湖、洪泽湖及鄱阳湖内进贤、余干、珠湖、都昌、湖口、永修合计 10 个群体三角帆蚌的遗传多样性和亲缘关系进行了分析研究,研究结果表明,鄱阳湖 6 个群体三角帆蚌聚在一起再与巢湖聚为一支。另外有学者研究了中国蚌科 13 个属代表种类的线粒体 16S rRNA 基因片段,构建了系统发育树<sup>[27]</sup>。

### 2.5 CNV 标记

Bai 等<sup>[28]</sup>克隆并分析三角帆蚌铁蛋白基因拷贝数多态性,发现鄱阳湖群体三角帆蚌铁蛋白基因多态性高于金华养殖群体,并发现 4 个拷贝数基因型的三角帆蚌壳长增长速度大于 3 个拷贝数基因型的三角帆蚌( $P < 0.05$ ),说明三角帆蚌铁蛋白基因拷贝数多态性与壳长性状显著相关,珍珠大小与三角帆蚌生长性状显著正相关,因此,铁蛋白 CNV 多态性可作为提高珍珠大小为目标的选择育种分子标记。

## 3 三角帆蚌不同种质生长性状比较研究

本实验室收集并保存了中国五大淡水湖泊三角帆蚌群体种质资源,并将这 5 个群体与诸暨养殖群体进行了生长性状的比较研究,结果发现,壳长、壳宽、壳高和活体质量 4 个生长性状在各群体

间有极显著差异,鄱阳湖野生群体的增重率、增长率和成活率均高于其他4个野生群体及养殖群体。其次为洞庭湖群体与太湖群体,洪泽湖群体生长最慢。全年生长可划分为2个阶段,3月到9月份为快速生长阶段,10月到翌年2月为缓慢生长阶段。一年中,以5月到9月为最适生长期<sup>[29]</sup>。

在此基础上,对三角帆蚌太湖、洞庭湖和鄱阳湖3个群体的9个F<sub>1</sub>组合进行了生长性状比较研究,筛选出了具有明显杂种优势的杂交组合:鄱阳湖♀×洞庭湖♂<sup>[30]</sup>。以三角帆蚌、池蝶蚌为亲本,通过人工自然受精方法,繁殖获得三角帆蚌(S)、池蝶蚌(C)自交和杂交F<sub>1</sub>4个组合,获得了具有明显杂交优势的反交组合:池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)。对杂交和自交后代养殖效果及育珠性状比较发现:反交组合>池蝶蚌>正交组合>三角帆蚌,反交组合具有显著杂交优势<sup>[31]</sup>,进一步培育出了第一个珍珠贝新品种——康乐蚌。

另外,同一群体三角帆蚌,个体大的所产珍珠规格也较大,生产性状与产珠性能正相关,蚌体重和蚌壳宽与产珠性能关系最为密切,可作为2个最重要的育种指标<sup>[32-33]</sup>。性成熟三角帆蚌个体,雌雄间在形态和产珠性能方面存在显著性差异,表现为雄性个体体型更大,具有更好的育珠性能,因此在产珠插核手术时可以考虑采用雄性蚌作为育珠蚌,雌性蚌作为供片蚌<sup>[34]</sup>。

## 4 三角帆蚌基因资源研究

### 4.1 珍珠质形成相关基因研究

贝壳与珍珠,是贝类生物矿化的结果,是贝类进行钙代谢后,并最终形成碳酸钙结晶形式沉积而成,故贝类Ca代谢水平的研究是实现珍珠生长调控的基础<sup>[35]</sup>。有研究者通过水提法并结合快速蛋白液相色谱分离出Nacrein蛋白进行体外仿生试验<sup>[36]</sup>,并认为在三角帆蚌外套膜组织钙晶体成型过程中,该蛋白不仅启动晶体生长,且在已形成珍珠质晶体基础上加速钙晶体成型。谢雷等<sup>[37]</sup>用电子能谱、X射线衍射分析及光学金相显微镜等分析测试方法系统研究了三角帆蚌贝壳和珍珠质微观结构和生长方式,Liu等<sup>[38]</sup>进一步研究了三角帆蚌棱柱层的形成机理。

目前,三角帆蚌外套膜cDNA文库已构建<sup>[39]</sup>,与珍珠质形成(包括钙离子代谢与转运)相关基因

的研究已陆续开展。三角帆蚌钙网蛋白基因、肌球蛋白必需轻链基因、钙调蛋白基因等的全长cDNA序列相继克隆,进行了组织表达分析<sup>[40-42]</sup>。另外,也有研究通过组织特异性表达、破壳诱导表达、原位杂交、原核表达等技术,研究了三角帆蚌2个几丁质代谢酶基因:几丁质酶-3和甲壳素脱乙酰酶在珍珠形成过程中的作用。而37-ku laminin receptor precursor(37 ku LRP)基因参与了角质层、棱柱层及珍珠层的形成过程<sup>[43-44]</sup>。

### 4.2 免疫相关基因的研究

贝类缺乏免疫球蛋白,体液免疫依靠血清中一些非特异性免疫因子来完成。目前发现的体液免疫因子主要包括水解酶类、抗菌肽、调理素和凝集素等。在体液中不仅发现了溶菌酶,也发现了其他与免疫有关的酶类和因子。三角帆蚌alpha2巨球蛋白( $\alpha_2M$ )在体液先天性免疫防御和调节过程中起着重要作用<sup>[45]</sup>。通过对三角帆蚌 $\alpha_2M$ 基因cDNA全序列的克隆,确认了三角帆蚌血细胞中 $\alpha_2M$ 基因的存在,对三角帆蚌进行了内脏团插核手术,RT-PCR及酶活性测定研究均表明,内脏团插核手术后三角帆蚌非特异性免疫系统有所增强,手术后自我防御调节能力增强,血液中免疫相关基因 $\alpha_2M$ 的表达水平和免疫相关酸性磷酸酶和超氧化物歧化酶活性都有明显变化<sup>[46]</sup>。

目前已构建了三角帆蚌的血淋巴cDNA文库和肝胰腺差减cDNA文库<sup>[47-48]</sup>,对文库中的glutathione peroxidase(GPX)基因、superoxide dismutase(SOD)基因和interferon regulatory factor 2(IRF-2)基因进行了比较全面系统的研究,从基因组水平、转录水平和蛋白水平等相关方面进行预测、分析和研究,为三角帆蚌等贝类的免疫机制研究提供了理论依据。同时,对这些基因部分SNPs位点多态性进行了统计分析,在GPX基因中共获得了21个SNP位点,其中8个SNP位点基因型频率和等位基因频率在抗性和易感群体中均存在显著性差异<sup>[49]</sup>,SOD基因中筛选出18个SNP位点,其中-7994C-G位点C/G基因型特异存在于抗性群体中<sup>[50]</sup>,而在IRF-2基因中共筛选出12个SNP位点中有2个抗性群体的特异位点<sup>[51]</sup>,为三角帆蚌分子标记辅助育种提供了新的分子标记。随后开展了三角帆蚌抗菌肽、big defension gene、Toll样受体和细胞色素P450、精氨酸酶、肽聚糖识别蛋白和谷胱甘肽硫转移酶等诸多基因cDNA的全长克隆

及其在三角帆蚌体内的表达分析<sup>[52-57]</sup>,进一步充实了三角帆蚌免疫相关基因的基础数据。

#### 4.3 贝壳及珍珠颜色相关基因

研究表明,淡水珍珠主要由微晶文石和有机物组成,同步辐射 XRD 图谱的线形分析进一步证实淡水三角帆蚌贝壳珍珠质中的晶内有机物吸附于文石板片的晶面,其中有机物影响淡水珍珠的颜色已形成共识<sup>[58-59]</sup>。在利用拉曼光谱对珍珠中有机物进行原位探测的研究中,Uroms 等<sup>[60]</sup>首次报道在天然珍珠中检测到的有机物峰是由类胡萝卜素所引起的,并且推测类胡萝卜素的存在是珍珠呈色的主要原因。三角帆蚌人工养殖珍珠及贝壳珍珠层中存在较强全反式结构的类胡萝卜素拉曼峰,而且类胡萝卜素的浓度与珍珠及贝壳珍珠层的颜色密切相关<sup>[61]</sup>。

Bai 等<sup>[62]</sup>构建了紫色、白色家系三角帆蚌外套膜转录组文库,通过测序筛选得到一批在紫色、白色家系三角帆蚌之间表达差异显著的基因。通过候选基因法,在众多差异表达基因中筛选出 1 个载脂蛋白(Apolipoprotein, APO)基因和 2 个清道夫受体(SRCR1, SRCR2)基因作为候选基因进行了研究,结果表明 APO 基因主要参与了贝壳棱柱层和角质层的形成<sup>[63]</sup>,而 SRCR1, SRCR2 基因在紫色家系中的表达量显著高于白色家系中的表达量<sup>[64]</sup>。

## 5 三角帆蚌种质创新

我国三角帆蚌的种质创新研究始于 20 世纪 80 年代的种间杂交,但在随后的 20 年中进展缓慢。随着淡水珍珠养殖过程中种质退化等问题的出现,至本世纪初,才逐渐重视并开展三角帆蚌的种质创新研究工作,目前已取得一些进展。

张元培<sup>[65]</sup>最早进行了三角帆蚌与褶纹冠蚌种间杂交试验,获得了少量杂交 F<sub>1</sub>。由于 F<sub>1</sub> 杂交蚌的幼蚌采苗率低,目前还未见在生产上使用。池蝶蚌与三角帆蚌同属帆蚌属,是日本特有的淡水育珠母蚌,中国于 1997 年引进,目前在部分地区有养殖。本实验室收集各地的珍珠蚌种质资源并进行了系统评价,筛选出优秀种质,还将三角帆蚌和池蝶蚌杂交,再经广泛筛选,获得优秀杂交组合,培育出康乐蚌,建立了母本池蝶蚌和父本三角帆蚌的配套系。康乐蚌是我国珍珠贝类第一个人工培育的良种,也是淡水贝类第一个人工培育的良种。2009 年经国家原良种委员会审定,康乐蚌比三角帆蚌产

珠量增加 31.96%,珍珠的平均粒径增大 23.32%,适合在淡水可控水域推广养殖<sup>[31]</sup>。

本实验室重点对我国五大淡水湖泊的三角帆蚌进行了遗传背景分析,并筛选出太湖(T)、鄱阳湖(P)和洞庭湖(D)3 个优秀群体,杂交育种试验研究显示:PD 与 TD、PP 杂交组合在壳宽和体质量生长速度上表现出明显杂交优势<sup>[30]</sup>。本实验室还采集了不同地理种群的三角帆蚌野生群体亲本,按照巢式设计原理,构建了半同胞或全同胞家系,在稚蚌期、幼蚌期及育珠期,以壳长、壳高、壳厚、体质量为生长性状指标,以育珠期珍珠平均重量为育珠性状指标,采集数据,分析了这些性状之间的相关性。结果表明:稚蚌期生长性状的遗传力为 0.36 ~ 0.52;在幼蚌期生长性状的遗传力为 0.27 ~ 0.59<sup>[66-67]</sup>。由此可见,通过采集鄱阳湖、洞庭湖、太湖三个野生群体构建基础群体的方法,能够保存不同野生群体的遗传多样性。也有学者对三角帆蚌种内杂交做了有益的尝试,取得了进展。闻海波等<sup>[68]</sup>对长江水系和淮河水系 2 个群体三角帆蚌杂交和自交幼虫形态比较,发现杂交组幼虫在数量性状上表现出一定的杂交优势,但是否能在 F<sub>1</sub> 幼贝上表现仍需要进一步的试验。

本实验室还在三角帆蚌紫色珍珠蚌选育方面取得了重要进展。建立了三角帆蚌紫色珍珠蚌和白色珍珠蚌家系,对白色和紫色贝壳珍珠质两种不同贝壳珍珠质颜色三角帆蚌进行双列杂交,对杂交子代贝壳珍珠质颜色进行了比较分析,并对珍珠颜色与贝壳珍珠质颜色的相关性进行了分析,结果表明三角帆蚌所产珍珠颜色不仅由小片蚌贝壳珍珠质颜色决定,还受育珠蚌贝壳珍珠质颜色的影响<sup>[69]</sup>;定量分析了育珠蚌和供片蚌对珍珠质量的影响,基于供片蚌对珍珠质量的贡献,开发了三角帆蚌活体取供片蚌外套膜技术,利用组织学方法观察了外套膜活体切除后的愈合再生情况,探索了供片蚌对珍珠质量影响的分子生物学证据<sup>[70-71]</sup>;选用紫色三角帆蚌选育系 F<sub>4</sub> 为亲本,繁育 F<sub>5</sub> 选育组群体,结果表明,紫色三角帆蚌选育效果明显, F<sub>4</sub> 的贝壳珍珠质颜色已经可以稳定遗传,且生长性能有了显著的提高,个体之间的生长速度更加趋于一致<sup>[72]</sup>。

另外国内有学者在三角帆蚌的附壳造型珍珠和有核珍珠培育方面做了有益尝试<sup>[73-75]</sup>。利用外套膜培育有核珍珠,建立利用河蚌内脏囊植核

育珠技术,研发了河蚌外套膜和内脏囊部位同时育珠技术,并使每只河蚌在育珠期可利用2~3次,显著提高了经济效益。

## 6 展望

三角帆蚌具有良好的育珠性状,其种质资源研究已引起国内外学者的重视。中国对三角帆蚌种质资源的利用做了很多工作,本实验室也建立了三角帆蚌种质标准,但三角帆蚌种质资源保护、种质评价标准等基础研究还不充分,许多研究领域还有待进一步深入,加强对中国三角帆蚌这一特有物种种质资源的研究尤为重要。种质资源的开发利用以种质资源的基础研究为基础,今后对三角帆蚌种质资源的研发应走协调并进的道路上。将来,三角帆蚌种质资源研究的主要方向:①进行全国性的三角帆蚌资源调查,摸清其数量,进行现状评估,对三角帆蚌遗传多样性予以鉴别和保护。②在种质创新方面,要将现代数量遗传学、分子遗传学等的研究成果,应用于三角帆蚌种质创新实践,培养各种优良新品种,缓减对野生资源的掠夺压力,从而达到对三角帆蚌种质资源保护的目。③开展三角帆蚌基因组学的研究,在基因组水平上研究三角帆蚌的珍珠形成原理及影响珍珠质量(包括规格、颜色、光泽)关键基因等,开辟三角帆蚌珍珠质量提高新途径,为三角帆蚌的遗传改良提供新思路。

### 参考文献:

- [1] Cai Y Y, Wang Y, Wei R F. Introduction of Mollusks [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1995. [蔡英亚,王英,魏若飞. 贝类学概论. 上海:上海科学技术出版社, 1995.]
- [2] Liu Y Y, Zhang W Z, Wang Y X, et al. Chinese economic animal data (Freshwater mollusk) [M]. Beijing: Beijing Science Press, 1979. [刘月英,张文珍,王跃先,等. 中国经济动物志(淡水软体动物). 北京:科学出版社, 1979.]
- [3] Lin Z T. Bivalves from the Poyang Lake [J]. Acta Zoologica Sinica, 1962, 14(2): 249 - 260. [林振涛. 鄱阳湖的双壳类. 动物学报, 1962, 14(2): 249 - 260.]
- [4] Li C C, Li Y, Peng C L. On the maximum sustained yield of *Hyriopsis cumingii* (Lea) and *Cristaria plicata* (Leach) resources in poyang lake and its utilization [J]. Jiangxi Science, 1991, 9(4): 233 - 239. [李长春,李云,彭赐莲. 三角帆蚌和褶纹冠蚌资源最大持续产量及其开发利用的研究. 江西科学, 1991, 9(4): 233 - 239.]
- [5] Wu X P, Ou Y S, Hu Q Y. Bivalves (mollusca) of the Poyang Lake [J]. Journal of Nanchang University: National Science, 1994, 18(3): 249 - 252. [吴小平, 欧阳珊, 胡起宇. 鄱阳湖的双壳类. 南昌大学学报: 理科版, 1994, 18(3): 249 - 252.]
- [6] Wu X P, Liang Y L, Wang H Z, et al. Mollusca of distribution and species diversity of freshwater mollusca of lakes along mid-lower reaches of the Yangtze river [J]. Journal of Lake Science, 2000, 12(2): 111 - 118. [吴小平, 梁彦龄, 王洪铸, 等. 长江中下游湖泊淡水贝类的分布及物种多样性. 湖泊科学, 2000, 12(2): 111 - 118.]
- [7] Wu Q L. Studies on mollusks in east taihu lake [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1993(4): 68 - 74. [吴庆龙. 东太湖的贝类及其生物学. 海洋湖沼通报, 1993(4): 68 - 74.]
- [8] Qian R H, Li J L, Dong Z G. Morphological variations analysis among populations of *Hyriopsis cumingii* in five large lakes of China [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2003, 34(4): 436 - 443. [钱荣华, 李家乐, 董志国. 中国五大湖三角帆蚌形态差异分析. 海洋与湖沼, 2003, 34(4): 436 - 443.]
- [9] Dong Z G, Li J L. Biodiversity and conservation of freshwater mollusks [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2004, 28(4): 440 - 444. [董志国, 李家乐. 淡水贝类生物多样性保育. 水生生物学报, 2004, 28(4): 440 - 444.]
- [10] Li J L. GB 20553 - 2006 The standard of Germplasm of *Hyriopsis cumingii* of people's Republic of China national [S]. 2006. [李家乐. GB 20553 - 2006 三角帆蚌种质中华人民共和国国家标准, 2006.]
- [11] Xu M X. Introduction and propagation technique of *Hyriopsis schlegeli* [J]. Journal of Nanchang University, 2000, 24: 21 - 24. [徐毛喜. 池蝶蚌的引种及繁育技术. 南昌大学学报, 2000, 24(专辑): 21 - 24.]
- [12] Han G, Lu M F, Zhang J P, et al. Comparative studies on SOD and EST isozymes of different tissues between *Hyriopsis schleselii* and *Hyriopsis cumingii* [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2013, 52(15): 3615 - 3618. [韩庆, 鲁密芳, 张建平, 等. 池蝶蚌与三角帆蚌不同组织 SOD 及 EST 同工酶的比较研究. 湖北农业科学, 2013, 52(15): 3615 - 3618.]

- [13] Li X Y, Dong Z G, Chen H L, *et al.* Isozyme identification of *Hyriopsis schleselii*, *Hyriopsis cumingii* and their reciprocal hybrids  $F_1$  [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2006, 15(2): 140 - 143. [李晓英,董志国,程汉良,等. 池蝶蚌与三角帆蚌及其杂种  $F_1$  的同工酶鉴别. 上海水产大学学报, 2006, 15(2): 140 - 143.]
- [14] Wang J, Hong Y J, Wang J H, *et al.* The genetic variation among population of *Hyriopsis schleselii* and *Hyriopsis cumingii* [J]. Science Technology and Engineering, 2005, 5(4): 204 - 209. [王静,洪一江,王军花,等. 不同年龄池蝶蚌(贝)与三角帆蚌同工酶的比较. 科学技术与工程. 2005. 5(4): 204 - 209.]
- [15] Zhang Z C, Wu H, Huang Y T, *et al.* Molecule markers identification (RAPD) of *Hyriopsis cumingii* and its similar species [J]. Journal of China Marine Drugs, 2012, 31(4): 45 - 48. [张志澄,吴皓,黄玉婷,等. 三角帆蚌及其相似种的分子标记技术 (RAPD) 鉴别. 中国海洋药物. 2012, 31(4): 45 - 48.]
- [16] Li J L, Qian R H, Bao B L, *et al.* RAPD analysis on genetic diversity among the stocks of *Hyriopsis cumingii* from the five large lakes of China [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(1): 1 - 5. [李家乐,钱荣华,鲍宝龙,等. 中国五大湖三角帆蚌遗传多样性的 RAPD 分析. 上海水产大学学报, 2005, 14(1): 1 - 5.]
- [17] Li J L, Dong Z G, Zheng H F, *et al.* RAPD analysis on genetic diversity of  $F_1$  of *Hyriopsis cumingii* from three population [J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(6): 848 - 852. [李家乐,董志国,郑汉丰. 三角帆蚌三种群  $F_1$  遗传差异的 RAPD 分析. 水产学报, 2007, 31(6): 848 - 852.]
- [18] Hua D, Gu R B, Bai Y F, *et al.* RAPD analysis on genetic diversity of wild and cultured populations of *Hyriopsis cumingii* [J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(6): 540 - 544. [华丹,顾若波,白云飞,等. RAPD 分析野生和养殖三角帆蚌的遗传多样性. 水产学报, 2003, 27(6): 540 - 544.]
- [19] Wang G L, Wang J J, Li J L. Preliminary study on applicability of microsatellite primers developed from the *Crassostrea gigas* for genomic analysis of *Hyriopsis cumingii* [J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(1): 15 - 20.
- [20] Li L, Wang G, Bai Z Y, *et al.* Ten polymorphic microsatellites from freshwater pearl mussel, *Hyriopsis cumingii* [J]. Molecular Ecology Notes, 2007, 7(6): 1114 - 1116.
- [21] Li J L, Wang G L, Bai Z Y. Genetic variability in four wild and two farmed freshwater pearl mussel *Hyriopsis cumingii* from Poyang Lake in China estimated by microsatellites [J]. Aquaculture, 2009, 287: 286 - 291.
- [22] Li J L, Wang G L, Bai Z Y. Genetic diversity of freshwater pearl mussel (*Hyriopsis cumingii*) in populations from five largest lakes in China revealed by inter-simple sequences repeat (ISSR) [J]. Aquaculture International, 2009, 17: 323 - 330.
- [23] Ji W, Wei K J, Zhuang G R, *et al.* Microsatellite DNA analysis of genetic diversity in five freshwater mussels in Qinglan Lake, Jiangxi Province [J]. Journal of Agricultural Biotechnology, 2007, 15(3): 429 - 433. [姬伟,魏开建,张桂蓉,等. 江西青岚湖五种淡水蚌遗传多样性的微卫星 DNA 分析. 农业生物技术学报, 2007, 15(3): 429 - 433.]
- [24] Jiang W P. Analysis of complete mitochondrial genomes of *Cristaria plicata* and *Hyriopsis cumingii* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2010. [蒋文坪. 褶纹冠蚌和三角帆蚌线粒体基因组全序列分析. 上海: 上海海洋大学, 2010.]
- [25] Li J L, Wang J J, Wang G L, *et al.* Sequence analysis of mitochondrial cytochrome C oxidase subunit (CO I) gene of *Hyriopsis cumingii* from the five freshwater lake of China [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2008, 32(5): 200 - 203. [李家乐,王建军,汪桂玲,等. 我国五大淡水湖三角帆蚌群体 mtDNA CO I 基因片段变异分析. 水生生物学报, 2008, 32(5): 200 - 203.]
- [26] Wang J J, Li J L, Wang G L, *et al.* Sequence variation of ribosomal DNA internal transcribed spacer 1 of *Hyriopsis cumingii* from the five freshwater lake of China [J]. Journal of Lake Sciences, 2008, 20(2): 208 - 214. [王建军,李家乐,汪桂玲,等. 我国五大湖三角帆蚌群体 ITS-1 序列变异分析. 湖泊科学, 2008, 20(2): 208 - 214.]
- [27] Huang Y Y, Ouyang S, Wu X P, *et al.* Phylogeny of the Unionidae based on partial mitochondrial 16S rRNA sequences [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2003, 27(3): 258 - 263. [黄艳艳,欧阳珊,吴小平,等. 中国蚌科线粒体 16S rRNA 序列变异及系统发育. 水生生物学报, 2003, 27(3): 258 - 263.]
- [28] Bai Z Y, Yuan Y M, Yue G H, *et al.* Molecular cloning and copy number variation of a ferritin subunit (Fth1) and its association with growth in freshwater pearl mussel *Hyriopsis cumingii* [J]. PLoS

- One, 2011, 6(7): e22886
- [29] Qian R H. Comparative studies on morphological, growth and molecular genetics of *Hyriopsis cumingii* from the five freshwater lake of China [ D ]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2003. [ 钱荣华. 中国五大湖三角帆蚌种群形态、生长与分子遗传比较研究. 上海: 上海海洋大学, 2003. ]
- [30] Dong Z G, Li J L, Zheng H F. Morphological variability in original parents and their reciprocal hybrids  $F_1$  of freshwater mussel *Hyriopsis cumingii*, from three geographical populations in China [ J ]. Journal of Dalian Fisheries University, 2008, 23(2): 92 - 97. [ 董志国, 李家乐, 郑汉丰. 三角帆蚌三个地理种群杂交子一代的形态差异. 大连水产学院学报, 2008, 23(2): 92 - 97. ]
- [31] Li J L, Bai Z Y. New freshwater breeding varieties-Kangle mussel [ J ]. China Fisheries, 2007, 10: 44 - 45. [ 李家乐, 白志毅. 淡水养殖新品种 - 康乐蚌. 中国水产, 2007(10): 44 - 45. ]
- [32] Bai Z Y, Li J L, Wang G L. Relationship between pearl production, growth traits and the inserted position of piece in triangle mussel (*Hyriopsis cumingii*) [ J ]. Journal of Fishery Science of China, 2008, 15(3): 393 - 399. [ 白志毅, 李家乐, 汪桂玲. 三角帆蚌生长性状与插片部位和产珠性能的关系. 中国水产科学, 2008, 15(3): 393 - 399. ]
- [33] Zhang G F, Liu Q G, Fang A P, et al. Growth of the freshwater pearl mussel *Hyriopsis cumingii* and its correlation with the growth of pearls [ J ]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(6): 922 - 928. [ 张根芳, 刘其根, 方爱萍, 等. 育珠期三角帆蚌的生长及其与珍珠增长的关系. 水产学报, 2008, 32(6): 922 - 928. ]
- [34] Zhao Y C, Bai Z Y, Fu L L, et al. Comparison of growth and pearl production in males and females of the freshwater mussel, *Hyriopsis cumingii*, in China [ J ]. Aquaculture International, 2013, 21: 1301 - 1310.
- [35] Ma Y, Berland S, Andrieu J P, et al. What is the difference in organic matrix of aragonite vs. vaterite polymorph in natural shell and pearl? Study of the pearl-forming freshwater bivalve mollusc *Hyriopsis cumingii* [ J ]. Materials Science & Engineering-C: Materials for Biological Applications, 2013, 33(3): 1521 - 1529. .
- [36] Han J, Li W J, Shi Z Y, et al. Nacrein Gene Clone, protein extraction and its effect on crystal growth in *Hyriopsis cumingii* Lea [ J ]. Biotechnology Bulletin, 2010(12): 137 - 141. [ 韩健, 李文娟, 施志仪, 等. 三角帆蚌 *Nacrein* 基因克隆、蛋白提纯及其对珍珠晶体成型的影响. 生物技术通报, 2010(12): 137 - 141. ]
- [37] Xie L, Wang X X, Li J. Microstructure of Nacre Layers in *H. cumingii* Lea Shell and the Characters of Nacreous Biocoatings [ J ]. Journal of Inorganic Materials, 2008, 23(3): 617 - 620. [ 谢雷, 王小祥, 郇剑. 三角帆蚌珍珠质层结构和珍珠质涂层的研究. 无机材料学报, 2008, 23(3): 617 - 620. ]
- [38] Liu X J, Li J L. Formation of the prismatic layer in the freshwater bivalve *Hyriopsis cumingii*: the feedback of crystal growth on organic matrix [ J ]. Acta Zoologica, 2013, doi:10.1111/azo.12048.
- [39] Bai Z Y, Yin Y X, Hu S N, et al. Identification of genes potentially involved in pearl formation in freshwater pearl mussel (*Hyriopsis cumingii*) by expressed sequence tag analysis of mantle [ J ]. Journal of Shellfish Research, 2010, 29(2): 527 - 534.
- [40] Shu M A, Hu H J, Lu J Y, et al. Full-length cDNA cloning and expression analysis of calreticulin gene from *Hyriopsis cumingii* [ J ]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(6): 999 - 1006. [ 舒妙安, 胡航娇, 陆晶莹, 等. 三角帆蚌钙网蛋白基因 cDNA 的全长克隆与表达分析. 水生生物学报, 2013, 37(6): 999 - 1006. ]
- [41] Chang X Z, Li J L, Bai Z Y, et al. Cloning and expression analysis of the 37-kDa laminin receptor precursor gene from *Hyriopsis cumingii* [ J ]. Genetics and Molecular Research, 2013, 12(4): 6130 - 6139.
- [42] Xai X L, Wang G L, Bai Z Y. Molecular characterization and expression analysis of calreticulin cDNA from *Hyriopsis cumingii* [ J ]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(5): 40 - 47. [ 夏秀琳, 汪桂玲, 白志毅, 等. 三角帆蚌钙网蛋白基因 cDNA 的分子特征与表达分析. 水产学报, 2013, 37(5): 40 - 47 ]
- [43] Shu M A, Hu H J, Lu Y, et al. Full-length cDNA cloning and expression characterization of Myosin essential light chain gene (MELC) from *Hyriopsis cumingii* [ J ]. Journal of Agricultural Biotechnology, 2013, 21(7): 764 - 774. [ 舒妙安, 胡航娇, 陆晶莹, 等. 三角帆蚌肌球蛋白必需轻链基因 (MELC) 的 cDNA 全长的克隆及表达特征. 农业生物技术学报, 2008, 32(4): 526 - 532. ]
- [44] Wang G L, Xu B, Bai Z Y. Two chitin metabolic enzyme genes from *Hyriopsis cumingii*: cloning,

- characterization, and potential functions [J]. *Genetics and Molecular Research*, 2012, 11 (4) : 4525 – 4538.
- [45] Ren Q, Li M, Zhang C Y, *et al.* Six defensins from the triangle-shell pearl mussel *Hyriopsis cumingii* [J]. *Fish Shellfish Immunology*, 2011, 31 (6) : 1232 – 1238.
- [46] Shi Z Y, Yang X X, Chen X W. Full-length cDNA cloning and expression characterization of alpha-2 macroglobulin from *Hyriopsis cumingii* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2008, 32 (4) : 526 – 532. [施志仪, 杨显祥, 陈晓武. 三角帆蚌 alpha-2 巨球蛋白 cDNA 全长的克隆及表达特征. *水产学报*, 2008, 32 (4) : 526 – 532. ]
- [47] Bai Z Y, Yin Y X, Hu S N, *et al.* Identification of genes involved in immune response, microsatellite, and SNP markers from expressed sequence tags generated from hemocytes of freshwater pearl mussel (*Hyriopsis cumingii*) [J]. *Marine Biotechnology*, 2009, 11 (4) : 520 – 530.
- [48] Yang Z Y, Wu H J, Li Y. Toxic effect on tissues and differentially expressed genes in hepatopancreas identified by suppression subtractive hybridization of freshwater pearl mussel (*Hyriopsis cumingii*) following microcystin-LR challenge [J]. *Environmental Toxicology*, 2012, 27 (7) : 393 – 340.
- [49] Li X L, Wang G L, Li L. Identification of genomic structure and resistance traits associated SNP loci in glutathione peroxidase gene of *Hyriopsis cumingii* [J]. *Hereditas*, 2012, 34 (11) : 1456 – 1465. [李西雷, 汪桂玲, 李家乐. 三角帆蚌 GPX 基因结构特征及抗性相关 SNP 的筛选. *遗传*, 2012, 34 (11) : 1456 – 1465. ]
- [50] Wang G L, Li X L, Li J L. Significant association between SNPs in the extracellular superoxide dismutase (EC-SOD) gene and resistance to *Aeromonas hydrophila* in the freshwater mussel *Hyriopsis cumingii* [J]. *Animal Genetics*, 2013, 44 (6) : 693 – 702.
- [51] Wang G L, Li X L, Li J L. Association between SNPs in interferon regulatory factor 2 (IRF-2) gene and resistance to *Aeromonas hydrophila* in freshwater mussel *Hyriopsis cumingii* [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2013, 34 (5) : 1366 – 1371.
- [52] Dong S J, Wang G L, Bai Z Y, *et al.* Full length cDNA cloning and molecular characteristic research of AMP gene in *Hyriopsis cumingii* [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2011, 20 (3) : 342 – 348. [董姝君, 汪桂玲, 白志毅, 等. 三角帆蚌 AMP 基因 cDNA 全序列的克隆及分子特征研究. *上海海洋大学学报*, 2011, 20 (3) : 342 – 348. ]
- [53] Wang G L, Xia X L, Li X L, *et al.* Molecular Characterization and expression patterns of the big defension gene in freshwater mussel (*Hyriopsis cumingii*) [J]. *Genetics and Molecular Research*, 2014, 13 (1) : 704 – 715.
- [54] Ren Q, Lan J F, Zhong X, *et al.* A novel Toll like receptor with two TIR domains (HcToll-2) is involved in regulation of antimicrobial peptide gene expression of *Hyriopsis cumingii* [J]. *Developmental and Comparative Immunology*, 2014, 45 (1) : 198 – 208.
- [55] Xiao T Y, Liu Q L, Guo X Z, *et al.* Cloning and expression anaysis of cytochrome P450 Homolog from *Hyriopsis cumingi* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, 36 (5) : 987 – 992. [肖调义, 刘巧林, 郭小泽, 等. 三角帆蚌细胞色素 P450 基因的克隆与表达分析. *水生生物学报*, 2012, 36 (5) : 987 – 992. ]
- [56] Liu Q L, Xu B H, Xiao T Y, *et al.* Full-length cDNA cloning and tissue expression anaysis of arginase gen from *Hyriopsis cumingi* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, 35 (4) : 596 – 603. [刘巧林, 许宝红, 肖调义, 等. 三角帆蚌精氨酸酶基因的 cDNA 克隆与组织表达分析. *水生生物学报*, 2011, 35 (4) : 596 – 603. ]
- [57] Yang Z Y. Gene cloning and functional analysis of peptidoglycan recognition protein and glutathione S-transferase in *Hyriopsis cumingii* [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2013. [杨子彦. 肽聚糖识别蛋白和谷胱甘肽硫转移酶基因的克隆和功能分析. 武汉: 华中科技大学, 2013. ]
- [58] Berland S, Ma Y, Marie A, *et al.* Proteomic and profile analysis of the proteins laced with aragonite and vaterite in the freshwater mussel *Hyriopsis cumingii* shell biominerals [J]. *Protein Peptide Letters*, 2013, 20 (10) : 1170 – 1180.
- [59] Yan X H, Wang S N, Du B, *et al.* Synchrotron XRD Study on the Nacre of Freshwater Bivalve *H. cumingii* Lea [J]. *Journal of Inorganic Materials*, 2012, 27 (5) : 524 – 528. [鄢晓晖, 王胜男, 杜博, 等. 淡水三角帆蚌贝壳珍珠质的同步辐射 XRD 研究. *无机材料学报*, 2012, 27 (5) : 524 – 528. ]
- [60] Urmos J, Sharma S, Mackenzie F. Characterization of some biogenic carbonates with Raman spectroscopy [J]. *American Mineralogist*, 1991, 76: 641 – 646.



- [61] Zhang G S, Xue X D, Wang Y. Raman spectra of carotenoid in the nacre of *Hyriopsis cumingii* shell [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2001, 21(3): 389 - 392. [张刚生, 谢先德, 王英. 三角帆蚌贝壳珍珠层中类胡萝卜素的激光拉曼光谱研究. *矿物学报*, 2001, 21(3): 389 - 392.]
- [62] Bai Z Y, Zheng H F, Lin J J, et al. Comparative analysis of the transcriptome in tissues secreting purple and white nacre in the pearl mussel *Hyriopsis cumingii* [J]. *PLOS ONE*, 2013, 8(1): e53617.
- [63] Li X L, Bai Z Y, Luo H R, et al. Cloning, differential tissue expression of a novel *hcApo* gene, and its correlation with total carotenoid content in purple and white inner-shell color pearl mussel *Hyriopsis cumingii* [J]. *Gene*, 2014, 538(2): 258 - 265.
- [64] Li X L. Expression of carotenoids accumulation related genes and effect on the color of shell nacre in *Hyriopsis cumingii* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014. [李西雷. 三角帆蚌类胡萝卜素积累相关基因的表达及对贝壳珍珠质颜色的影响. 上海: 上海海洋大学, 2014.]
- [65] Zhang Y P. Pearl traits of the reciprocal hybrids  $F_1$  of *Hyriopsis cumingii* ♀ and *Cristaria plicata* ♂ [J]. *Hunan Fisheries Science and Technology*, 1982(4): 21 - 24. [张元培. 三角帆蚌 (*Hyriopsis cumingii*) ♀ × 褶纹冠蚌 (*Cristaria plicata*) ♂ 的  $F_1$  代育珠性状. *湖南水产科技*, 1982(4): 21 - 24.]
- [66] Jin W, Li J L, Fu L L, et al. Genetic parameter estimates for growth traits in the earlier larva stage of *Hyriopsis cumingii* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(8): 1209 - 1214. [金武, 李家乐, 付龙龙, 等. 三角帆蚌早期阶段生长性状遗传参数估计. *水产学报*, 2012, 36(8): 1209 - 1214.]
- [67] Jin W, Bai Z. Y, Fu L L, et al. Genetic analysis of early growth traits of the triangle shell mussel, *Hyriopsis cumingii*, as an insight for potential genetic improvement to pearl quality and yield [J]. *Aquaculture International*, 2012, 20: 927 - 933.
- [68] Wen H B, Hua D, Gu R B. Comparison of morphological characters of broodstocks and their glochidia in reciprocal hybrid of *Hyriopsis cumingii* from two drainage systems [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2010, 19(5): 612 - 614. [闻海波, 华丹, 顾若波, 等. 两水系三角帆蚌亲本及杂交自交组幼虫形态比较. *上海海洋大学学报*, 2010, 19(5): 612 - 614.]
- [69] Wang Z Q, Han X K, Bai Z Y, et al. Estimates of genetic parameters for inner shell color and growth traits during one year old stage in the purple strain of *Hyriopsis cumingii* using microsatellite based parentage assignment [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(5): 644 - 650. [王照旗, 韩学凯, 白志毅, 等. 三角帆蚌紫色选育系 1 龄阶段内壳色及生长性状的遗传参数估计. *水产学报*, 2014, 38(5): 644 - 650.]
- [70] Fu, Bai Z Y, Jin W, et al. Evaluation of laser labelling on growth and survival of the freshwater pearl mussel, *Hyriopsis cumingii* [J]. *Aquaculture International*. 2012, 20(3): 431 - 441.
- [71] Liu Y, Bai Z Y, Li Q Q, et al. Healing and regeneration of the freshwater pearl mussel *Hyriopsis cumingii* Lea after donating mantle saibos [J]. *Aquaculture*, 2013, 392 - 395: 34 - 43.
- [72] Wang Z Q. Evaluation of breeding effect and genetic analysis of inner shell color and growth traits of purple breeding lines in *Hyriopsis cumingii* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014. [王照旗. 三角帆蚌紫色选育系选育效果评估及内壳色和生长性状遗传分析. 上海: 上海海洋大学, 2014.]
- [73] Xie S H. Large-scale cultivation techniques of nucleated freshwater pearl in china [J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2010, 30(1): 55 - 58. [谢绍河. 淡水有核珍珠大面积养殖技术研究 [J]. *广东海洋大学学报*, 2010, 30(1): 55 - 58.]
- [74] Shi Z Y, Yang X D, Li Y, et al. Bio-characteristics of cultured mantle cells of *Hyriopsis cumingii* and technique for nucleated pearl producing [J]. *Journal of Fishery Science of China*, 2007, 14(1): 149 - 154. [施志仪, 杨显德, 李勇, 等. 体外培养三角帆蚌外套膜细胞的生物学特性及有核珍珠培育. *中国水产科学*, 2007, 14(1): 149 - 154.]
- [75] Xie S H, Liang F L, Lin Z X, et al. A study of modeling technique of blister pearl production [J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2011, 31(1): 34 - 38. [谢绍河, 梁飞龙, 林展新, 等. 附壳造型珍珠培育技术研究. *广东海洋大学学报*, 2011, 31(1): 34 - 38.]

## Research progress on germplasm resources of *Hyriopsis cumingii*

WANG Guiling<sup>1,2</sup>, BAI Zhiyi<sup>1,2</sup>, LIU Xiaojun<sup>1,2</sup>, LI Jiale<sup>1,2,3\*</sup>

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China;

2. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Aquaculture Division, E-Institute of Shanghai Universities, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** The freshwater pearl mussel (*Hyriopsis cumingii*), also known as triangle mussel, is a freshwater bivalve widely distributed in China and is the commercially most important mussel species exploited for freshwater pearl production due to its several advantageous pearl production traits. In the paper, study on the investigation, collection and protection of germplasm resources of *H. cumingii*, development condition of different molecular markers such as RAPD, SSR and mitochondrial gene were introduced and the application of different molecular markers in genetic diversity research in *H. cumingii* was discussed. Meanwhile the growth performance of *H. cumingii* from China's five major freshwater lakes and nine reciprocal hybrids F<sub>1</sub> of three excellent germplasm were compared. Then the current research status of pearl formation related genes, immune related genes, shells and pearl color related genes was summarized. And on the basis of interspecific and intraspecific hybridization in *H. cumingii*, the breeding progress of "kangle" was discussed. Some suggestions for future research were put forward, such as using family selection with modern biological technology to breed and promote new varieties which were high yield and quality, meanwhile, study on genome of *H. cumingii*. This paper provides important scientific basis for genetic improvement of *H. cumingii*.

**Key words:** *Hyriopsis cumingii*; germplasm resources; genetic diversity; gene resources; germplasm innovation

**Corresponding author:** LI Jiale. E-mail: jlli@shou.edu.cn

### 《上海海洋大学学报》2015 年征订启事

《上海海洋大学学报》为上海海洋大学主办,面向全国的以海洋、水产科学技术为主的综合性学术刊物。目前学报是《中国科学引文数据库》来源期刊,《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊,《中国学术期刊文摘》来源期刊,《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》全文收录期刊,万方数据-数字化期刊群全文收录期刊,中国科技论文统计源核心期刊,水产渔业类中文核心期刊。

本刊为双月刊,大 16 开,国内外公开发行。每期单价:10.00 元。国际标准刊号:ISSN 1674-5566,国内统一刊号:CN 31-2024/S。国内邮发代号:4-604,国际发行代号:4822Q。读者可在当地邮局订阅,也可直接汇款至编辑部订阅。

编辑部联系地址:上海市临港新城沪城环路 999 号,上海海洋大学 201 信箱(邮编:201306)

联系人:郭丰红

联系电话:021-61900229

传真:021-61900229

E-mail: xuebao@shou.edu.cn

网址: <http://www.shhydxxb.com>