



· 综述 ·

## 云斑尖塘鳢研究进展与前景展望

王学耕, 余杰, 苗玉涛, 麦康森, 汪蕾\*

(华南师范大学生命科学学院, 现代水产养殖科学与工程研究院,  
广东省水产健康安全养殖重点实验室, 广东广州 510631)

**摘要:** 云斑尖塘鳢原产于东南亚地区, 自 20 世纪 80 年代末引进我国, 并实现人工繁育和养殖, 已发展成为重要的名特优水产鱼类品种。随着养殖规模快速扩大, 原有引进品种已经无法满足产业发展的需求, 因此迫切需要加快云斑尖塘鳢种质资源研究, 培育出能够适应人工配合饲料、生长速率快、抗寒、抗病能力强的适宜本土养殖新品种。本文综述了国内外半个世纪以来云斑尖塘鳢相关的研究进展; 首先阐述了云斑尖塘鳢生殖和生长发育等生物学特征及研究进展, 探讨了温度、盐度、溶解氧等环境条件对云斑尖塘鳢的影响; 然后进一步总结和探讨了云斑尖塘鳢人工养殖领域的进展和面临的饲料、种质资源开发、病害防治等问题; 同时也探讨了云斑尖塘鳢未来发展方向。

**关键词:** 云斑尖塘鳢; 人工养殖; 饲料驯食; 遗传育种; 种质资源

中图分类号: S 965.1

文献标志码: A

云斑尖塘鳢 (*Oxyeleotris marmorata*), 又称泰国笋壳鱼、泰国褐塘鳢, 隶属鲈形目 (Perciformes) 塘鳢科 (Eleotridae) 尖塘鳢属 (*Oxyeleotris*)。云斑尖塘鳢原产于东南亚地区的泰国、马来西亚、新加坡、老挝、柬埔寨和印度尼西亚等地, 最大个体体长可达 60 cm, 体重最大达到 5~6 kg, 商品规格一般为 0.4 kg, 因其肉质细腻、脂肪含量低、营养价值高、味道鲜美、刺少、外形美观等优点受到消费者喜爱。我国最早于 1988 年由华南师范大学郑文彪、潘炯华团队将云斑尖塘鳢从泰国引进到珠三角地区<sup>[1-2]</sup>, 并成功进行了人工繁殖实验<sup>[3]</sup>、生殖习性和早期发育研究<sup>[4]</sup>。经过 30 多年的发展, 云斑尖塘鳢养殖在我国华南、东南地区已形成一定的规模, 据专家估计目前的养殖面积大概有 667 hm<sup>2</sup><sup>[5]</sup>, 成为重要的名特优经济鱼类之一。

### 1 云斑尖塘鳢的特征

#### 1.1 生殖与遗传发育特征

云斑尖塘鳢为底栖穴居性鱼类, 常栖息于水质较清或有微流水的江河、水库、池塘的底部沙泥或草丛中, 也常栖息于岸边砂石缝隙、洞穴及杂物中, 性温驯, 喜欢夜间摄食和活动, 最适生长温度 25~30 °C。云斑尖塘鳢 2 龄便性成熟, 生殖季节为 4—10 月, 最盛期为 5—7 月, 每年产卵 3~4 次, 每次 2 000~30 000 枚不等<sup>[2, 6-7]</sup>。云斑尖塘鳢基础生理学与人工养殖相关研究起始于 20 世纪中叶。到目前为止, 已先后有来自新加坡<sup>[8]</sup>、泰国<sup>[6]</sup>、中国<sup>[4, 9-11]</sup>、马来西亚<sup>[12-13]</sup> 和日本<sup>[13]</sup> 的研究人员报道了云斑尖塘鳢早期发育相关研究。

云斑尖塘鳢染色体数目为  $2n = 46$ <sup>[14-16]</sup>, 其中

收稿日期: 2022-03-17 修回日期: 2022-09-13

资助项目: 广州市科技计划项目 (202102020234), 国家自然科学基金 (22176066)

第一作者: 王学耕, 从事水产动物遗传育种研究, E-mail: wangxuegeng@scnu.edu.cn

通信作者: 汪蕾 (照片), 从事水产动物环境生理及健康养殖研究, E-mail: wanglei@scnu.edu.cn



亚中着丝染色体 (sm)1 对, 亚端部着丝点 (st)1 对, 其余 21 对染色体为端部着丝点染色体 (t)。核型公式为  $2sm + 2st + 42t$ , 染色体臂数  $NF = 50$ <sup>[14]</sup>。

云斑尖塘鳢成熟未受精卵呈淡黄色, 近动物极端的卵膜具丝状的黏着丝形成吸盘, 使鱼卵能固着于附卵器。遇水后卵膜迅速吸水, 卵周隙扩张, 使卵的外形呈长柄的“梨形”或“茄形”, 柄部固着于附卵器上<sup>[2,4,8-9]</sup>。相较于早期研究, 廖志洪等<sup>[9]</sup>对云斑尖塘鳢胚胎和早期仔鱼发育进行了细致的观察, 详细描述了各发育阶段的形态特征。胚胎在 28 °C 恒温条件下, 发育时长约为 80 h 30 min。按照其发育时间和外部形态特征, 胚胎发育可以分为受精卵、卵裂期、囊胚期、原肠期、神经胚期、器官形成期、肌肉效应期、孵化出膜期 8 个阶段, 共 24 个发育分期。

初孵仔鱼全长 2.5~3.0 mm, 多沉于水底, 偶尔会做螺旋式上下游动。出膜 3 d 后, 口能张合, 消化道贯通, 可见肠的蠕动; 仔鱼已能平游, 有些个体可开口摄食纤毛虫和轮虫等小型浮游生物<sup>[9]</sup>。仔鱼不常在水面活动而喜栖息底部或缝隙处, 习性和形态与成鱼相似<sup>[4]</sup>。孵化 35 d 后的鱼苗各鳍鳍条、鳍棘均形成, 体表全被鳞片, 体色呈浅棕色, 尚未见大的斑纹<sup>[9]</sup>。

云斑尖塘鳢幼鱼早期生长速率缓慢, 体重达到 75~100 g 以后, 生长开始加快<sup>[17-18]</sup>。成鱼头部扁平宽大, 体型略延长、粗壮, 鱼体前段呈圆柱形后部稍扁<sup>[19]</sup>。头部、体表披有细小的栉鳞, 口大, 为端位口。体色一般为黄褐色和灰色, 体侧有多个纵向褐色大斑纹<sup>[7]</sup>。

## 1.2 温度对云斑尖塘鳢的影响

云斑尖塘鳢原产于热带亚热带气候的东南亚地区, 其适宜生存的水温范围为 15~35 °C, 最适温度 25~30 °C, 在水温 20.0~25.2 °C 条件下云斑尖塘鳢能够安全越冬<sup>[20]</sup>, 10 °C 以下大量死亡<sup>[18]</sup>。温度会对云斑尖塘鳢胚胎发育产生重要影响, 在一定范围内, 随着温度的升高, 孵化时间缩短, 其胚胎发育的最适温度为 26.5~29.0 °C<sup>[11]</sup>。在 34~36 °C 时, 孵化时间显著少于 26.5~29.0 °C 条件下, 但孵化率也显著低于其他组, 表明高温虽然能加快孵化过程, 但不利于个体胚胎发育<sup>[11]</sup>。

温度对幼鱼摄食及生长方面也有重要影响。研究发现, 水温在 29 °C 时幼鱼的摄食状态最佳, 生长最快<sup>[21]</sup>, 而 20 °C 条件下生长近乎停滞<sup>[17]</sup>。在

实际养殖生产过程中, 水温应控制在 26~29 °C, 在该温度范围内既能保证云斑尖塘鳢幼鱼的快速生长, 又能保证饲料具有较高的转化率, 减少饲料的浪费, 同时还可以保持良好的养殖水质<sup>[21]</sup>。

## 1.3 盐度和溶解氧对云斑尖塘鳢的影响

云斑尖塘鳢可以在淡水和咸水中存活。Chew 等<sup>[22]</sup>发现云斑尖塘鳢幼鱼可以耐受从淡水到海水 (盐度为 30) 的盐度逐渐增加, 并在海水中存活 14 d 以上而不会死亡。在这个过程中鳃和肠道建立起渗透压适应, 鳃和肠道中  $Na^+/K^+$ -ATP 酶 ( $Na^+/K^+$ -ATPase, NKA) 和钠钾氯共转运蛋白 ( $Na^+ : K^+ : 2Cl^-$  cotransporter, NKCC) 的蛋白质丰度和活性增加<sup>[22-24]</sup>。云斑尖塘鳢在盐度为 10 淡咸水中胚胎孵化率和存活率显著高于淡水中, 胚胎孵化时间也要短于淡水中<sup>[25]</sup>; 孵化后 40 d 内的仔鱼在盐度为 10 淡咸水中存活率最高<sup>[26]</sup>, 孵化后 40~100 d 的幼鱼在盐度为 10 淡咸水中日摄食量、增重和存活率都显著高于淡水<sup>[27-28]</sup>, 表明低盐度有利于其早期发育和生长。但该研究在各实验组中都存在仔鱼存活率低的问题 (<15%), 因此其相关结论有待进一步验证<sup>[26]</sup>。云斑尖塘鳢可以适应淡水和咸水转换这一特性, 将有助于鱼病防治。例如盐度为 10 淡咸水处理 21 d 可以有效控制鲤 (*Cyprinus carpio*) 锚头蚤 (*Lernaea cyprinacea*) 而不影响云斑尖塘鳢生长和存活<sup>[29]</sup>。

云斑尖塘鳢耐低氧, 用打湿的滤纸包裹离开水体 7 d 后, 其体重及各项生理指标能在短时间内恢复正常<sup>[30]</sup>, 有利于进行高容量长途运输。早期研究表明, 其通过激活肝脏中谷氨酸脱氢酶 (GDH) 和谷氨酰胺合成酶 (GS) 以减少氨排泄<sup>[31]</sup>。此外, 云斑尖塘鳢摄食后肝脏 GDH 胺化活性和肠道 GDH 活性显著增加, 从而可以合成和保留更多谷氨酰胺用于个体生长<sup>[32]</sup>, 但目前还没有证据显示肠道 GDH 是否参与低氧胁迫适应。在低氧胁迫下, 云斑尖塘鳢通过减少氨排泄的方式, 保留更多营养来度过危机可能是其对环境的适应机制。

## 1.4 食性

云斑尖塘鳢是一种肉食性鱼类, 食物组成因其栖息地而略有不同, 主要有小型杂鱼、虾、蟹和软体动物等<sup>[33-34]</sup>。其食物组成随着其发育阶段也有所不同, 幼苗期摄食轮虫、溞、摇蚊幼虫、卤虫、枝角类等饵料生物<sup>[2,6,35-36]</sup>; 鱼苗期则以水体

中的小杂鱼、杂虾为食; 成鱼期则捕食较大杂鱼, 甲壳动物和软体动物<sup>[18]</sup>。除了这些食物以外, 水蚯蚓也是云斑尖塘鳢幼鱼的适合饵料<sup>[37]</sup>。

国内外对云斑尖塘鳢幼鱼摄食研究较多。云斑尖塘鳢仔鱼呈现较明显的夜间摄食规律, 在 16:00—00:00 达到摄食高峰<sup>[38]</sup>。在另一项以稻田虾为饵料的研究中, 也发现了幼鱼在白天 (07:00—17:00) 和夜间 (17:00—07:00) 都会捕捉稻田虾, 但摄食量在夜间达到高峰<sup>[39]</sup>。与之相应, 云斑尖塘鳢夜间氧消耗率明显高于白天; 而随着食物的消化, 白天排氮率明显高于夜间<sup>[40]</sup>。但随着幼鱼生长, 昼夜间摄食差异逐渐缩小, 研究中 1.43 g 大小的幼鱼昼夜摄食率已无显著差异<sup>[39]</sup>。在幼鱼阶段, 云斑尖塘鳢的摄食方式为主动掠食, 日摄食量与幼鱼全长呈正相关, 适食饵料全长以其全长的 25%~50% 为宜<sup>[41]</sup>。云斑尖塘鳢部分仔鱼在破膜后第 2 日开口摄食, 最佳初次投饵时间为 3 日龄<sup>[42]</sup>。仔鱼转饵期进行联合投喂的最佳饵料比例为“50% 轮虫 + 50% 丰年虾”, 最佳转饵时间为 10 日龄<sup>[43]</sup>。延迟初次投喂会造成仔鱼死亡率升高和发育畸形<sup>[44]</sup>。Yong 等<sup>[45]</sup>发现用 10% 的脱脂豆粕替代饵料中的鱼粉, 不会影响幼鱼生长、营养利用和肠道健康。另一项研究发现豆油可以部分替代配合饲料中的鱼油<sup>[46]</sup>。

相较于幼鱼, 成鱼摄食和营养方面研究较少, 相关成果大多发表于近几年, 表明其已成为当前研究热点。有研究表明, 以鲜活莫桑比克罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*) 做饵料, 云斑尖塘鳢在生长和营养利用方面要优于活鲤和切碎的罗氏圆鲂 (*Decapterus russelli*), 且产生较少的排泄物<sup>[47]</sup>。同样以鲜活仙女虾做饵料, 云斑尖塘鳢在生长和存活率方面明显优于冷冻仙女虾和卤虫做饵料<sup>[48]</sup>。以上研究表明云斑尖塘鳢摄食鲜活鱼虾的生长情况优于摄食冷冻等饵料。

## 2 云斑尖塘鳢的人工养殖

### 2.1 国外养殖概况

作为一种重要的高价值经济鱼类, 云斑尖塘鳢的人工养殖实验和研究在东南亚地区的越南、马来西亚、泰国和新加坡等国开展的时间较早, 以池塘、水库、河湾和湖泊中混养或放置笼箱方式为主<sup>[49-51]</sup>, 早期曾作为养殖其他鱼类的副产品<sup>[52]</sup>, 规模有限, 其主要原因是幼鱼存活率很低、生长

缓慢、病害频发等<sup>[12,50,53]</sup>。近年来, 国外有学者尝试在循环水系统中养殖云斑尖塘鳢, 特别是育苗培育。这些工作大多从鱼缸设计、食物类型、排泄物清除和营养利用等方面着手, 取得了一定的效果<sup>[47,54-56]</sup>。Seetapan 等<sup>[56]</sup>研究发现, 仔鱼 (0.17 g) 在 250 尾/m<sup>3</sup>, 且缸中有遮挡物的条件下生长情况最好。Lam 等<sup>[47,54]</sup>通过一系列研究发现, 对鱼缸进行分区, 提供 PVC 管, 并喂食鲜活莫桑比克罗非鱼的情况下, 云斑尖塘鳢小鱼 (平均体重约 100 g) 生长情况最好。也有学者对养殖密度和鱼缸颜色进行了研究, 发现养殖密度在 15 尾/L, 采用灰色鱼缸养殖, 仔鱼生长最好<sup>[57]</sup>。

### 2.2 国内养殖概况

我国在云斑尖塘鳢人工养殖领域的研究走在世界前列。由于云斑尖塘鳢在我国适宜产卵的温度条件时间窗口相对较小, 因此苗种供应是一个重要问题。不同于国外养殖户可从野外获取鱼苗进行养殖, 我国种苗场则主要依赖人工繁殖的方式。郑文彪等<sup>[2]</sup>通过注射鲤脑垂体 (PG) 加绒毛膜促性腺激素 (HCG) 方法进行人工催产, 成功率在 70% 左右, 鱼卵孵化率 80% 左右。邴旭文等<sup>[58]</sup>对比了鲤 PG+HCG 和促黄体素释放激素 (LRH-A) + 马来地欧酮 (DOM) 催产效果, 证明 LRH-A+DOM 组的催产效果 (75%) 要好于 HCG+鲤 PG 组 (50%), 平均孵化率为 89%。连常平等<sup>[59]</sup>证实单独使用 HCG 或混合使用 LRH-A + DOM 都能够催产成功; 使用 LRH-A2+DOM 合剂效应时间相对较短<sup>[60]</sup>。陈永乐等<sup>[10]</sup>采用 LRH-A+HCG 或 HCG+PG 方法, 均取得了很好催产效果, 催产率为 72.7%~100%; 而用作对照的自然产卵组产卵率为 65.6%。以上研究成果表明, 我国云斑尖塘鳢人工繁殖技术已经比较成熟稳定。

在云斑尖塘鳢苗种培育方面, 我国也已拥有了成熟稳定的技术。陈永乐等<sup>[61]</sup>经过多年的探索, 突破了鱼苗培育的“瓶颈”, 建立起了完善的鱼苗培育技术, 1 月龄左右鱼苗 (全长约 1.5 cm) 成活率达 22.25%~39.06%。余德恭等<sup>[20]</sup>开展的另一项云斑尖塘鳢人工育苗技术研究中, 从仔鱼 (全长约 0.3 cm) 培育到幼鱼 (全长约 2.4 cm) 成活率达 20.30%。

在我国, 云斑尖塘鳢以池塘养殖为主。在过去的 30 多年时间里, 我国水产行业工作者开展了大量研究, 在建立稳定的云斑尖塘鳢养殖技术方



面取得了丰硕成果<sup>[7,18,62-68]</sup>。黄晓荣等<sup>[69]</sup>、Aini 等<sup>[70]</sup>研究发现云斑尖塘鳢在人工养殖条件下, 体长生长与时间表现为线性相关, 体重与时间表现为指数相关; 云斑尖塘鳢体长与体重之间呈幂函数关系, 与野生环境下体长与体重关系类似。魏成清等<sup>[71]</sup>通过连续 60 d 养殖实验发现, 体长约为 1.7 cm 的幼鱼, 放养密度在 45 万尾/hm<sup>2</sup> 较为合适。养殖水体 pH 保持在 7.5~8.6 能够促进其生长和提高其存活率<sup>[72]</sup>, 且要时刻注意鱼病预防<sup>[73]</sup>。因云斑尖塘鳢性情懒不喜动, 投喂时不能保证全塘完全均匀, 可导致个体大小差异较大, 从而出现大吃小的现象, 建议在养殖过程中进行分塘, 以免造成损失。

### 2.3 杂交尖塘鳢

目前市场上常见的尖塘鳢, 除了云斑尖塘鳢之外, 还有线纹尖塘鳢 (*O. lineolata*)、杂交尖塘鳢。这三者在形态特征、生长性能、养殖效益等方面差异较大。云斑尖塘鳢肉质鲜美, 营养丰富, 售价较其他 2 种高, 但是它以喂食活饵为主, 养殖成本高, 养殖周期较长, 生长速率较慢, 饵料带来隐含病害的风险也较大。线纹尖塘鳢体色一般为灰黑色, 生长速率快, 养殖成本低, 养殖效率高, 但是价格较低。东莞市南方特种水产研究所和苏州市水产研究所于 1998 年分别从原产地引进线纹尖塘鳢<sup>[74-75]</sup>, 经过 20 多年的探索, 已经建立起人工繁殖、苗种培育、池塘养殖、工厂化养殖、人工配合饲料等全套养殖技术<sup>[75-85]</sup>。

与云斑尖塘鳢类似, 线纹尖塘鳢染色体数目为  $2n=46$ , 未发现与性别有关的异型染色体<sup>[14,86]</sup>。进一步从形态特征、16S RNA、遗传多样性与分类学地位研究结果表明, 线纹尖塘鳢与云斑尖塘鳢是尖塘鳢属中已知亲缘关系最接近的单系类群, 尖塘鳢种间杂交成功可能性很大<sup>[87-89]</sup>。张邦杰等<sup>[90-91]</sup>对线纹尖塘鳢胚胎和前期仔鱼、稚鱼各发育阶段进行了详细研究。在室温 28~29 °C 下, 线纹尖塘鳢的胚胎发育历时 70 h 完成, 可分为受精卵、卵裂期、囊胚期、原肠期、神经胚期、器官形成期、肌肉效应期和孵化出膜期 8 个连续的典型发育期<sup>[90]</sup>。在池塘自然水温 26~30 °C 条件下, 胚后发育历时 43~44 d, 大致可分为前期仔鱼、后期仔鱼、稚鱼和幼鱼期<sup>[91]</sup>。

有研究以云斑尖塘鳢为母本、线纹尖塘鳢为父本, 通过人工授精获得杂交尖塘鳢, 受精率为

90.0%, 孵化率为 83.6%, 出苗率为 60.51%; 杂交子一代幼鱼在生长速率、体重方面均显著优于亲本, 证明尖塘鳢属种间杂交可以成功且杂种优势明显<sup>[92-93]</sup>。也有研究对云斑尖塘鳢、线纹尖塘鳢的自交、杂交及其回交实验组合及其子一代进行了养殖实验, 结果显示, 杂交和回交尖塘鳢子一代在体重上较双亲均有优势<sup>[94-96]</sup>。遗传分析发现, 杂交尖塘鳢正反交子代和回交后代均表现了一定的母本效应。营养分析结果显示, 杂交尖塘鳢肌肉中的粗蛋白与粗脂肪含量、不饱和脂肪酸显著高于云斑尖塘鳢; 肌肉中多不饱和脂肪酸的含量显著高于线纹尖塘鳢, 具有一定的杂种优势<sup>[97]</sup>。在杂交子代中继续进行人工选择、定向交配, 有望培育出生长速率快、容易驯化、抗逆能力强的优良品种。

除了与线纹尖塘鳢进行杂交之外, 云斑尖塘鳢与其他鱼类的远缘杂交实验也有被报道。李启亮等<sup>[98]</sup>将云斑尖塘鳢和中华乌塘鳢 (*Bostrichthys sinensis*) 进行属间杂交, 但仅在云斑尖塘鳢做父本、中华乌塘鳢做母本组合中获得 1 枚受精卵, 且鱼苗活动能力很弱, 孵化后 3 d 死亡。藏雪等<sup>[99]</sup>以河川沙塘鳢 (*Odontobutis potamophila*) 为母本、云斑尖塘鳢为父本进行科间人工远缘杂交, 并对杂交子代胚胎发育情况进行了观察, 最终统计能够成活下来的子代仅有 0.3%。这些研究为云斑尖塘鳢杂交育种提供一定的理论依据。

### 2.4 云斑尖塘鳢和线纹尖塘鳢的种苗鉴定方式

由于云斑尖塘鳢和线纹尖塘鳢形态相似, 幼苗阶段难以区分, 容易混淆, 且它们种苗价格相差较大, 容易被不法商人利用, 用低价的线纹尖塘鳢种苗代替高价的云斑尖塘鳢种苗进行销售, 引起商业纠纷。基于此, 陈海港等<sup>[100]</sup>发明了一种云斑尖塘鳢和线纹尖塘鳢的分子鉴别技术, 该技术通过对线粒体 DNA 中 COI 基因特异性位点进行比对和分析, 设计并筛选出一对特异性引物 (XW1)。线纹尖塘鳢中的特异性引物 XW1 可扩增得到 170 bp 长度的单一产物, 云斑尖塘鳢中则没有该产物, 根据该特点可对两个物种进行有效区分。但由于该引物无法区分杂交尖塘鳢及其母本, 鉴于此, 樊佳佳等<sup>[101]</sup>又开发出一种基于 *simc1* 基因筛选 3 种尖塘鳢特异性 SNP 标记的方法, 利用该方法可以快速区分云斑尖塘鳢、线纹尖塘鳢和杂交尖塘鳢, 对尖塘鳢种质资源鉴定和新品种植

育具有重要意义。

## 2.5 与其他水产鱼类的混养

在国外, 云斑尖塘鳢常与其他鱼类混养<sup>[50]</sup>。水产科技人员也探索了云斑尖塘鳢与暗纹东方鲀 (*Takifugu obscurus*) 混养模式。暗纹东方鲀属鲀形目 (Tetraodontiformes) 鲀科 (Tetraodontidae) 东方鲀属 (*Takifugu*), 是杂食性鱼类。暗纹东方鲀属中、下层鱼类, 而云斑尖塘鳢则是底栖鱼类, 多在夜间活动, 两者活动不会冲突。2 种鱼类的混养可充分利用水体空间资源, 增加产量, 提高经济效益<sup>[102]</sup>。许爱娉等<sup>[103]</sup>对云斑尖塘鳢混养技术进行改良, 研发了一种基于网箱和菜基鱼塘循环水系统的混养模式。该混养模式将云斑尖塘鳢、暗纹东方鲀以及鲮 (*Cirrhinus molitorella*) 混养在一起; 云斑尖塘鳢摄食活鲮, 网箱内的暗纹东方鲀摄食冰鲜杂鱼和粉料, 鲮则对暗纹东方鲀的残余饲料进行摄食, 大大降低了原料与人工成本。由于养殖过程中云斑尖塘鳢需要主动追逐活鲮, 因此养殖出来的云斑尖塘鳢肉质口感与品质也更好, 经济效益显著<sup>[103]</sup>。

## 3 当前面临的问题

### 3.1 人工配合饲料有待开发

实现云斑尖塘鳢人工养殖为我国云斑尖塘鳢产业的发展奠定了坚实的基础, 但对其深入研究还处于开始阶段。目前还没有可以摄食人工配合饲料的云斑尖塘鳢新品种被报道, 因此养殖过程中以喂食冰鲜杂鱼为主。冰鲜杂鱼不仅成本高, 还会带来环境污染问题, 且携带的病原容易诱发鱼病发生。因此, 对云斑尖塘鳢进行饲料化驯食, 从而开发适合其生长发育的人工配合饲料, 对其养殖产业健康可持续发展具有重要意义。

马来西亚沙巴大学婆罗洲海洋研究所的 Leong-Seng Lim 团队, 对人工配合饲料中常用促摄食物的适口性开展了一系列研究, 取得了一定的成果。Lim 等<sup>[104]</sup>采用琼脂凝胶颗粒方法, 针对几种氨基酸及其混合物进行了研究, 发现氨基酸混合物可以有效促进云斑尖塘鳢产生摄食行为, 接受度达到 91%, 显著高于单个氨基酸的促摄食效应。Lai 等<sup>[105]</sup>采用同样的研究策略, 陆续发现氨基酸和核苷酸混合物也可以有效提高云斑尖塘鳢驯食成功率, 肌苷在低浓度下就可以引起摄食

行为<sup>[106]</sup>, 有望应用到人工配合饲料中。Lim 等<sup>[107]</sup>针对有机酸、氨基酸、糖类和其他常用促摄食物单独使用的效果进行了系统研究, 发现有机酸均有较好的促摄食作用, 且其效果与 pH 呈负相关。而糖类等则完全被云斑尖塘鳢排斥<sup>[107]</sup>。

由于发现效果好的促摄食物都为酸性, Teoh 等<sup>[108]</sup>研究了不添加任何促摄食物, 只改变 pH 的情况下, 琼脂凝胶颗粒的促摄食作用, 结果发现酸性颗粒 (pH=2.4 和 pH=3.0) 被摄食率显著高于对照组。鉴于此, Lim 等<sup>[109]</sup>进一步研究了酸性人工配合饲料是否能在驯食过程中促进云斑尖塘鳢摄食行为, 结果显示, 2 种酸性人工配合饲料 (pH=2.5 和 pH=3.2) 促进摄食效果显著高于对照组 (pH=6.0)。长期喂食结果发现, pH=3.2 酸性人工配合饲料的总采食量、鱼体增重都显著高于 pH=2.5 酸性人工配合饲料<sup>[110]</sup>。

此外, 华中农业大学团队<sup>[111-112]</sup>对鳊 (*Siniperca chuatsi*) 的饲料化驯食研究和 中国水产科学研究院珠江水产研究所<sup>[113-114]</sup>对大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 的饲料化驯食研究, 也为云斑尖塘鳢饲料化驯食提供了可借鉴的成功范例。

### 3.2 种群间遗传差异较大

由于云斑尖塘鳢原产地分布较广, 种群众多, 其不同种群之间也存在较大差异。以受精卵孵化时间为例, 新加坡种群在 27 °C 条件下, 胚胎在受精后 31 h 开始孵化出膜, 整个孵化时期可以持续到受精后 5 d<sup>[8]</sup>。相比之下, 马来西亚种群在 27 °C 条件下, 其胚胎在受精后 41 h 开始孵化出膜, 整个过程持续到受精后 150 h<sup>[12]</sup>。陈永乐等<sup>[10]</sup>引进的越南种群在 26.8~30.0 °C 条件下, 受精后 30 h 25 min 仔鱼孵出。郑文彪<sup>[4]</sup>引进的泰国种群在 27~32 °C 条件下, 胚胎在受精后 84 h 开始孵化, 持续时间 20~24 h。即使来自于同一个国家的不同种群也会有明显差异。邴旭文等<sup>[58]</sup>引进的柬埔寨种群在 27~29 °C 条件下, 同一批受精卵孵化时间为 56~98 h, 在另外一项研究中, 同样从柬埔寨引进的种群在 28.2~29.0 °C 条件下, 其受精卵孵化时间为 32~41 h<sup>[60]</sup>, 存在较大差异, 与同一温度条件下廖志洪等<sup>[9]</sup>的结果也有明显不同。

一方面, 丰富的野生种群为云斑尖塘鳢遗传育种研究提供了宝贵的种质资源; 另一方面, 复杂的遗传背景也为遗传选育和表型鉴定增加了难度。目前还未见云斑尖塘鳢全基因组测序研究相

关报道, 仅有基于线粒体 DNA 测序<sup>[115-116]</sup>, 及基于线粒体 DNA 多态性<sup>[117-119]</sup>、扩增片段长度多态性 (AFLP)<sup>[120]</sup>、简单序列重复区间 (ISSR)<sup>[121]</sup>、微卫星<sup>[118,122-123]</sup> 等分子标记的遗传背景分析。

### 3.3 性别决定机制未知

许多雄鱼和雌鱼在形态和发育行为上有很大差异, 或者是最具有价值的特征与某一性别相关<sup>[124]</sup>。因此研究鱼类性别决定机制对于其性别控制育种十分重要, 可以指导生产实践, 人工干预合理控制鱼类性别比例, 提高养殖收益, 实现效益最大化<sup>[125-126]</sup>。有报道云斑尖塘鳢 2 龄成鱼中, 雄鱼比雌鱼的平均体重大 56.3%, 表明云斑尖塘鳢有着明显的性别二态性<sup>[127]</sup>。同时鱼类的性别决定表现出高度的可塑性, 有基因性别决定、环境性别决定和基因-温度性别决定<sup>[128]</sup>。不同类型的性别决定方式具有不同的特点, 性腺形成和分化阶段是性别调控的关键<sup>[129]</sup>。在对云斑尖塘鳢和线纹尖塘鳢染色体观察中, 没有发现与性别相关的异性染色体<sup>[14,86]</sup>, 也未见温度等环境因素影响云斑尖塘鳢性别分化的报道, 推测其可能是基因性别决定机制。

Liu 等<sup>[127,130]</sup> 在云斑尖塘鳢中鉴定了 *vasa*、*dmrt1*、*foxl2* 等与生殖细胞发育和性别发育相关基因, 但其在性别决定机制中的具体作用有待进一步验证。最近, Law 等<sup>[131]</sup> 利用扩增片段长度多态性 (AFLP) 方法, 鉴定出一个序列特异性扩增区 (SCAR) 标记, 且只存在于雌鱼中。但由于缺少高精度参考基因组序列信息, 尚不能确定这个标记在染色体上的具体位置和关联基因。

### 3.4 病害防治

随着云斑尖塘鳢养殖规模的不断扩大, 其病害的威胁也逐渐增大, 已成为当前研究的重点之一。目前已经发现的病原性疾病有烂身病、烂鳃病、肠炎、水霉病、虹彩病毒病、弹状病毒、锚头蚤病等<sup>[132]</sup>。2009 年, 我国南方地区曾暴发云斑尖塘鳢虹彩病毒病, 致死率高达 85%, 造成重大损失<sup>[133-134]</sup>。2018 年, 又暴发了鳃尾孢虫 (*Heneguya shaharini* Shariff) 病, 波及云斑尖塘鳢、线纹尖塘鳢和杂交尖塘鳢<sup>[135]</sup>。

为防治病害发生, 我国水产养殖工作者们做了大量工作, 建立了一系列防治技术<sup>[136-139]</sup>。疫苗接种是预防毒病最有效的手段。周阳等<sup>[140]</sup> 绘制了

脾肾坏死病毒和弹状病毒注射二联灭活疫苗后的脾脏转录谱, 为阐明云斑尖塘鳢免疫应答机制提供了依据。虽然鱼类的特异性免疫系统较低, 但也证明鱼类疫苗接种可以产生免疫保护作用。Guo 等<sup>[141]</sup> 构建了一种可诱导鱼类适应性免疫的二价灭活疫苗, 该疫苗能降低笋壳鱼感染虹彩病毒和弹状病毒的概率。

### 3.5 抗寒能力有待提升

在我国, 即使是珠三角地区, 冬季温度也常低于云斑尖塘鳢最适温度, 因此如何保证安全越冬是养殖过程中面临的一个重要难题。在我国华东和华中地区, 由于气候原因导致云斑尖塘鳢生长速率与南方地区有差异, 生长周期长, 个体略小, 经过 2 年养殖可到达 200~300 g 的规格, 需要 3 年才能达到 500 g/尾以上规格, 极大地限制了云斑尖塘鳢养殖产业的推广和发展<sup>[142]</sup>。

搭设冬棚是当前云斑尖塘鳢的主要养殖模式, 以保证云斑尖塘鳢安全越冬<sup>[64,80]</sup>, 但仍有一些风险存在。例如, 覆盖薄膜之后温棚内池塘溶解氧会降低; 二氧化碳、氨氮等有害气体积累; 棚内外水体温差较大, 换水可能导致云斑尖塘鳢过度应激而冻伤; 由于换水少而使得水质变差; 云斑尖塘鳢生长缓慢从而导致养殖周期变长等。

## 4 总结与展望

我国自引进云斑尖塘鳢以来, 经过三十多年的发展, 建立了相对成熟稳定的人工繁殖、育苗、养殖技术, 云斑尖塘鳢已成为重要的经济鱼类之一。但原来引进的品种已经逐渐满足不了产业发展的需求, 迫切需要加快云斑尖塘鳢本土化和种质资源研究, 培育出能够喂食人工配合饲料、生长速率快、产量高、抗寒、抗病能力强的适宜本土养殖新品种。

得益于引进云斑尖塘鳢时种群来源较多, 已知包括泰国<sup>[2,9]</sup>、越南<sup>[7,10,14]</sup>、柬埔寨<sup>[58,60]</sup> 等地, 且每个来源国家都可能不止一个种群被引进, 客观上形成了种质资源较为丰富的有利局面。如何整理、保存和充分利用这些资源, 已成为云斑尖塘鳢种质提升工作的当务之急。同时, 对云斑尖塘鳢基因组序列进行测序和深入分析, 确定其性别决定机制也是当前云斑尖塘鳢研究的重要方向。

通过精准育种, 对云斑尖塘鳢品种进行遗传改良, 使其更加适合本土养殖条件是今后研究的



主要方向, 特别是开发更易安全越冬和适合北方地区养殖的抗寒新品种, 以及能食用人工配合饲料的食性驯化新品种, 都有着巨大的经济价值。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Ma X, Bangxi X, Yindong W, *et al.* Intentionally introduced and transferred fishes in China's inland waters[J]. *Asian Fisheries Science*, 2003, 16(3-4): 279-290.
- [ 2 ] 郑文彪, 潘炯华. 泰国褐塘鳢的生物学及人工繁殖试验[J]. *淡水渔业*, 1989(1): 3-6.  
Zheng W B, Pan J H. Biological and artificial breeding experiments of the sand goby, *Oxyeleotris marmoratus* Bleeker[J]. *Freshwater Fisheries*, 1989(1): 3-6 (in Chinese).
- [ 3 ] 郑文彪. 泰国塘鳢人工孵化成功[J]. *科学养鱼*, 1989(3): 27.  
Zheng W B. Successfully artificial hatching of sand goby, *Oxyeleotris marmoratus* Bleeker[J]. *Scientific Fish Farming*, 1989(3): 27 (in Chinese).
- [ 4 ] 郑文彪. 褐塘鳢的生殖习性和早期发育[J]. *海洋湖沼通报*, 1990(1): 47-51.  
Zheng W B. On the reproduction and early development of sand goby, *Oxyeleotris marmoratus* Bleeker[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1990(1): 47-51 (in Chinese).
- [ 5 ] 周礼雄. 珠江水产研究所研究员陈永乐与广东水产产业共成长[J]. *海洋与渔业*, 2020(11): 24-25.  
Zhou L X. Chen Yong le, a researcher at the Pearl River Fisheries Research Institute, grew up with Guangdong's aquaculture industry[J]. *Ocean and Fishery*, 2020(11): 24-25 (in Chinese).
- [ 6 ] Tavarutmaneegul P, Lin C K. Breeding and rearing of sand goby (*Oxyeleotris marmoratus* Blk. ) fry[J]. *Aquaculture*, 1988, 69(3-4): 299-305.
- [ 7 ] 吴光明, 方奕波, 徐先龙. 云斑尖塘鳢(笋壳鱼)的养殖[J]. *淡水渔业*, 2001, 31(4): 18-19.  
Wu G M, Fang Y B, Xu X L. The culture of *Oxyeleotris marmoratus*[J]. *Freshwater Fisheries*, 2001, 31(4): 18-19 (in Chinese).
- [ 8 ] Tan O K K, Lam T J. Induced breeding and early development of the marble goby (*Oxyeleotris marmorata*, Blk. ) [J]. *Aquaculture*, 1973, 2: 411-423.
- [ 9 ] 廖志洪, 王春, 林小涛, 等. 云斑尖塘鳢胚胎和早期仔鱼的发育[J]. *动物学杂志*, 2004, 39(6): 18-22.  
Liao Z H, Wang C, Lin X T, *et al.* Embryonic and larval development of *Oxyeleotris marmoratus*[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2004, 39(6): 18-22 (in Chinese).
- [ 10 ] 陈永乐, 刘毅辉, 朱新平, 等. 尖塘鳢的全人工繁殖及其胚胎发育[J]. *水产学报*, 2005, 29(6): 769-775.  
Chen Y L, Liu Y H, Zhu X P, *et al.* Complete artificial propagation and embryonic development of *Oxyeleotris marmoratus*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2005, 29(6): 769-775 (in Chinese).
- [ 11 ] 木亮亮, 徐慈浩, 许爱娣, 等. 温度对云斑尖塘鳢胚胎发育的影响及其胚后发育的形态学观察[J]. *广东农业科学*, 2015, 42(14): 94-99.  
Mu L L, Xu C H, Xu A Y, *et al.* Effects of temperature on embryonic development of *Oxyeleotris marmorata* and its morphology observation on post-embryonic development[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015, 42(14): 94-99 (in Chinese).
- [ 12 ] Senoo S, Kaneko M, Cheah S H, *et al.* Egg development, hatching, and larval development of marble goby *Oxyeleotris marmoratus* under artificial rearing conditions[J]. *Fisheries Science*, 1994, 60(1): 1-8.
- [ 13 ] Senoo S, Ang K J, Kawamura G. Development of sense organs and mouth and feeding of reared marble goby *Oxyeleotris marmoratus* larvae[J]. *Fisheries Science*, 1994, 60(4): 361-368.
- [ 14 ] 朱新平, 刘毅辉, 陈永乐, 等. 尖塘鳢的形态生物学与细胞核型[J]. *中国水产科学*, 2003, 10(1): 85-86.  
Zhu X P, Liu Y H, Chen Y L, *et al.* Morphological characters and karyotype of *Oxyeleotris marmoratus* Bleeker[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2003, 10(1): 85-86 (in Chinese).
- [ 15 ] Masagca J T, Sumantadinata K. Chromosomal characters of the Indonesian sand goby, *Oxyeleotris marmorata* Blkr. 1874 (Eleotridae)[J]. *Biotropia: The Southeast Asian Journal of Tropical Biology*, 1994, 7(1): 41-46.
- [ 16 ] Pinthong K, Supiwong W, Tanomtong A, *et al.* A first karyological analysis of the sand goby, *Oxyeleotris marmoratus* (Teleostei, Eleotridae) in Thailand by Ag-NOR Staining Technique[J]. *Cytologia*, 2014, 79(2): 127-132.
- [ 17 ] 戴立贤. 云斑尖塘鳢幼鱼摄食、生长与耗氧率研究

- [D]. 武汉: 华中农业大学, 2004.
- Dai L X. Study on feeding, growth and oxygen consumption of young soon hock (*Oxyeleotris marmoratus*)[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2004 (in Chinese).
- [ 18 ] 朱新平, 陈永乐. 尖塘鳢的生物学及养殖技术[J]. 淡水渔业, 1998, 28(6): 40-41.
- Zhu X P, Chen Y L. Biological characteristic and culture of marbled sleeper (*Oxyeleotris marmoratus*)[J]. Freshwater Fisheries, 1998, 28(6): 40-41 (in Chinese).
- [ 19 ] 曹昆, 徐献民, 韩晓磊, 等. 云斑尖塘鳢的生物学特性及人工催产试验[J]. 现代农业科技, 2012(8): 326,330.
- Cao K, Xu X M, Han X L, *et al.* Biological characteristics and artificial induction tests of *Oxyeleotris marmorata*[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2012(8): 326,330 (in Chinese).
- [ 20 ] 余德恭, 郭忠东, 林秀芬, 等. 云斑尖塘鳢人工育苗技术初步研究[J]. 海洋科学, 2005, 29(12): 1-3.
- Yu D G, Guo Z D, Lin X F, *et al.* A preliminary studies on the artificial propagation and fry rearing of *Oxyeleotris marmoratus* (Bleeker)[J]. Marine Sciences, 2005, 29(12): 1-3 (in Chinese).
- [ 21 ] 田田, 胡振禧, 王茂元, 等. 水温对云斑尖塘鳢幼鱼摄食和生长的影响[J]. 安徽农学通报, 2014, 20(19): 89-91.
- Tian T, Hu Z X, Wang M Y, *et al.* Effects of water temperature on feeding and growth of juvenile *Oxyeleotris marmoratus* Bleeker[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2014, 20(19): 89-91 (in Chinese).
- [ 22 ] Chew S F, Tng Y Y M, Wee N L J, *et al.* Nitrogen metabolism and branchial osmoregulatory acclimation in the juvenile marble goby, *Oxyeleotris marmorata*, exposed to seawater[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Molecular & Integrative Physiology, 2009, 154(3): 360-369.
- [ 23 ] Chew S F, Tng Y Y M, Wee N L J, *et al.* Intestinal osmoregulatory acclimation and nitrogen metabolism in juveniles of the freshwater marble goby exposed to seawater[J]. Journal of Comparative Physiology B, 2010, 180(4): 511-520.
- [ 24 ] Pang C Z, Ip Y K, Chew S F. Effects of seawater acclimation on two Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase  $\alpha$ -subunit isoforms in the gills of the marble goby, *Oxyeleotris marmorata*[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Molecular & Integrative Physiology, 2021, 253: 110853.
- [ 25 ] Nguang S I, Nakagawa Y, Shirakasi S, *et al.* Effects of salinity on egg development, hatching and larval deformation in the marble goby *Oxyeleotris marmoratus*[J]. Aquaculture Science, 2012, 60(1): 1-9.
- [ 26 ] Senoo S, Sow S H, Mukai Y. Effects of different salinity levels on the survival and growth of marble goby, *Oxyeleotris marmoratus* larvae[J]. Aquaculture Science, 2008, 56(3): 423-432.
- [ 27 ] Darwis M, Shaleh S R M, Senoo S. Effects of different salinity levels on growth and survival of marble goby, *Oxyeleotris marmoratus* juvenile[J]. Aquaculture Science, 2008, 56(3): 433-439.
- [ 28 ] Darwis M, Shaleh S R M, Senoo S. Daily food intake, feeding activity and growth of marble goby, *Oxyeleotris marmoratus* juveniles reared under different salinity levels[J]. Aquaculture Science, 2009, 57(2): 185-191.
- [ 29 ] Idris H, Amba M A. A note on *Lernaea cyprinacea* parasitizing the cultured marble goby *Oxyeleotris marmorata* and their control with salinity modification[J]. Advances in Environmental Biology, 2011, 5(5): 817-820.
- [ 30 ] Fenwick J C, Lam T J. Studies on the effect of air exposure on gill Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase of the marble goby, *Oxyeleotris marmorata*, a facultative air-breathing fish[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 1988, 5(3): 121-130.
- [ 31 ] Jow L Y, Chew S F, Lim C B, *et al.* The marble goby *Oxyeleotris marmoratus* activates hepatic glutamine synthetase and detoxifies ammonia to glutamine during air exposure[J]. Journal of Experimental Biology, 1999, 202(3): 237-245.
- [ 32 ] Tng Y Y M, Wee N L J, Ip Y K, *et al.* Postprandial nitrogen metabolism and excretion in juvenile marble goby, *Oxyeleotris marmorata* (Bleeker, 1852)[J]. Aquaculture, 2008, 284(1-4): 260-267.
- [ 33 ] Pholprasith S. Biology and some management problems of thirteen economically important fish species in Ubol Ratana Reservoir, Thailand[D]. Winnipeg: The University of Manitoba, 1974.
- [ 34 ] Siaw-Yang Y. Food resource utilization partitioning of fifteen fish species at Bukit Merah Reservoir, 中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries



- Malaysia[J]. *Hydrobiologia*, 1988, 157(2): 143-160.
- [ 35 ] 王伟军, 林小涛, 王春, 等. 云斑尖塘鳢仔鱼饵料动物的非纯化培养及摄食试验[J]. *淡水渔业*, 2007, 37(1): 72-75.  
Wang W J, Lin X T, Wang C, *et al.* Studies on cultivation and feeding experiment of zooplankton fed by *Oxyeleotris marmoratus* larva[J]. *Freshwater Fisheries*, 2007, 37(1): 72-75 (in Chinese).
- [ 36 ] Amornsakun T, Sriwatana W, Chamnanwech U. The culture of sand goby, *Oxyeleotris marmoratus* I: feed and feeding scheme of larvae and juveniles[J]. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 2003, 25(3): 367-371.
- [ 37 ] 李启亮, 苏跃朋. 不同饵料对云斑尖塘鳢幼鱼摄食生长和消化的影响[J]. *中国海洋大学学报 (自然科学版)*, 2014, 44(6): 34-39.  
Li Q L, Su Y P. Effect of different diets on the feeding, growth and digestion of juvenile *Oxyeleotris marmoratus*[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2014, 44(6): 34-39 (in Chinese).
- [ 38 ] 廖志洪, 林小涛, 王春, 等. 云斑尖塘鳢仔鱼摄食节律的研究[J]. *生态科学*, 2005, 24(3): 240-242.  
Liao Z H, Lin X T, Wang C, *et al.* Study on the feeding rhythm of *Oxyeleotris marmoratus* larvae[J]. *Ecologic Science*, 2005, 24(3): 240-242 (in Chinese).
- [ 39 ] Hoa N P, Yi Y. Prey ingestion and live food selectivity of marble goby (*Oxyeleotris marmorata*) using rice field prawn (*Macrobrachium lanchesteri*) as prey[J]. *Aquaculture*, 2007, 273(4): 443-448.
- [ 40 ] Lim L S, Tan S Y, Tuzan A D, *et al.* Diel osmorepiration rhythms of juvenile marble goby (*Oxyeleotris marmorata*)[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2020, 46(4): 1621-1629.
- [ 41 ] 魏成清, 陈永乐, 朱新平, 等. 云斑尖塘鳢幼鱼摄食特性的初步研究[J]. *广东海洋大学学报*, 2009, 29(6): 83-86.  
Wei C Q, Chen Y L, Zhu X P, *et al.* Feeding characteristics of *Oxyeleotris marmorata* fry[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2009, 29(6): 83-86 (in Chinese).
- [ 42 ] 木亮亮, 许爱娉, 高腾, 等. 不同初次投饵时间对云斑尖塘鳢仔鱼生长和成活的影响[J]. *广东农业科学*, 2014, 41(21): 116-120,127.  
Mu L L, Xu A Y, Gao T, *et al.* Effects of initial bait casting time on growth and survival of *Oxyeleotris marmorata* larva[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41(21): 116-120,127 (in Chinese).
- [ 43 ] 木亮亮, 徐慈浩, 许爱娉, 等. 云斑尖塘鳢转饵期仔鱼生长和存活率的研究[J]. *淡水渔业*, 2015, 45(4): 70-75.  
Mu L L, Xu C H, Xu A Y, *et al.* Studies on growth and survival of *Oxyeleotris marmorata* larva in food transformation period[J]. *Freshwater Fisheries*, 2015, 45(4): 70-75 (in Chinese).
- [ 44 ] Yusoff S F M, Fui C F, Senoo S. Survival, growth, and feeding ability of marble goby, *Oxyeleotris marmorata* (Bleeker, 1852) larvae under delayed initial feeding[J]. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 2021, 43(5): 1408-1413.
- [ 45 ] Yong A S K, Ooi S Y, Shapawi R. The utilization of soybean meal in formulated diet for marble goby, *Oxyeleotris marmoratus*[J]. *Journal of Agricultural Science*, 2013, 5(11): 139.
- [ 46 ] Ti W M, Ong M K, Teoh C Y. Assessment on the effects of dietary fatty acids on growth performance, body compositions, plasma lysozyme activity and sensorial quality of juvenile marble goby, *Oxyeleotris marmorata*[J]. *Aquaculture Reports*, 2019, 14: 100186.
- [ 47 ] Lam S S, Ambak M A, Jusoh A, *et al.* Growth performance and waste excretion of marble goby (*Oxyeleotris marmorata* Bleeker) in relation to different culture system and diet[J]. *Journal of Aquaculture in the Tropics*, 2014, 29(1-2): 41-59.
- [ 48 ] Suksomnit A A, Pholwieng N. Culture of sand goby (*Oxyeleotris marmoratus*, Bleeker) fed with live and frozen fairy shrimp (*Streptocephalus sirindhornae*)[J]. *International Journal of Agricultural Technology*, 2017, 13(4): 493-499.
- [ 49 ] Luong V C, Yi Y, Lin C K. Cove culture of marble goby (*Oxyeleotris marmorata* Bleeker) and carps in Tri An Reservoir of Vietnam[J]. *Aquaculture*, 2005, 244(1-4): 97-107.
- [ 50 ] Cheah S H, Senoo S, Lam S Y, *et al.* Aquaculture of a high-value freshwater fish in Malaysia: the marble or sand goby (*Oxyeleotris marmoratus*, Bleeker)[J]. *NAGA*, 1994, 17(2): 22-25.
- [ 51 ] Reksalegora O. Fish cage culture in the town of Jambi, Indonesia[C]//Proceedings of the International Work-

- shop on Pen Cage Culture of Fish. Tigbauan, Iloilo, Philippines: Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center, 1979: 51-53.
- [ 52 ] Jiwyam W. *Oxyeleotris marmoratus*, predator or by-product in integrated aquaculture ponds[J]. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2008, 11(4): 532-538.
- [ 53 ] Jee A K. Some problems in the cage culture of marble goby (*Oxyeleotris marmorata* Bleeker)[J]. *Aquaculture*, 1980, 20(3): 229.
- [ 54 ] Lam S S, Ma N L, Jusoh A, *et al.* A study on the optimal tank design and feed type to the growth of marble goby (*Oxyeleotris marmorata* Bleeker) and reduction of waste in a recirculating aquaponic system[J]. *Desalination and Water Treatment*, 2014, 52(4-6): 1044-1053.
- [ 55 ] Lam S S, Ma N L, Jusoh A, *et al.* Biological nutrient removal by recirculating aquaponic system: optimization of the dimension ratio between the hydroponic & rearing tank components[J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2015, 102: 107-115.
- [ 56 ] Seetapan K, Puanglarp N, Meunpol O. Study of optimal culture conditions for juvenile marble goby (*Oxyeleotris marmorata* Bleeker, 1852)[C]//Proceedings of the 2nd Syiah Kuala University Annual International Conference. Banda Aceh: Syiah Kuala University, 2012.
- [ 57 ] Loo P L, Chong V C, Ibrahim S, *et al.* Manipulating culture conditions and feed quality to increase the survival of larval marble goby *Oxyeleotris marmorata*[J]. *North American Journal of Aquaculture*, 2015, 77(2): 149-159.
- [ 58 ] 邴旭文, 张宪中, 闵宽洪. 斑驳尖塘鳢人工繁殖的初步研究[J]. *经济动物学报*, 2004, 8(1): 29-31.
- Bing X W, Zhang X Z, Min K H. The preliminary study on artificial reproduction of the marble goby[J]. *Journal of Economic Animal*, 2004, 8(1): 29-31 (in Chinese).
- [ 59 ] 连常平, 陈敏瑶. 褐斑尖塘鳢人工催产技术[J]. *水产养殖*, 2004, 25(3): 9-10,8.
- Lian C P, Chen M Y. Artificial induction techniques for sand goby, *Oxyeleotris marmoratus* Bleeker[J]. *Journal of Aquaculture*, 2004, 25(3): 9-10,8 (in Chinese).
- [ 60 ] 张德志, 肖慧, 吴恢碧. 笋壳鱼的人工催产试验[J]. *淡水渔业*, 2005, 35(1): 50-51.
- Zhang D Z, Xiao H, Wu H B. Trials of induced spawning in *Oxyeleotris marmoratus*[J]. *Freshwater Fisheries*, 2005, 35(1): 50-51 (in Chinese).
- [ 61 ] 陈永乐, 刘毅辉, 朱新平, 等. 褐塘鳢苗种培育试验[J]. *水利渔业*, 2005, 25(6): 44-45.
- Chen Y L, Liu Y H, Zhu X P, *et al.* Rearing of the fry and fingerlings of *Oxyeleotris marmoratus*[J]. *Journal of Hydroecology*, 2005, 25(6): 44-45 (in Chinese).
- [ 62 ] 黄林波, 张邦杰, 李春枝, 等. 尖塘鳢的池塘全人工养殖[J]. *水产养殖*, 2007, 28(1): 18-21.
- Huang L B, Zhang B J, Li C Z, *et al.* Artificial culture of *Oxyeleotris* in pond[J]. *Journal of Aquaculture*, 2007, 28(1): 18-21 (in Chinese).
- [ 63 ] 张邦杰, 梁仁杰, 张瑞瑜, 等. 尖塘鳢(笋壳鱼)的生物学及养殖概况[J]. *淡水渔业*, 2004, 34(6): 58-61.
- Zhang B J, Liang R J, Zhang R Y, *et al.* Biology of marbled sleeper (*Oxyeleotris*) and its culture status in China and abroad[J]. *Freshwater Fisheries*, 2004, 34(6): 58-61 (in Chinese).
- [ 64 ] 罗俊标, 骆明飞, 陈永乐. 尖塘鳢亲鱼越冬强化培育技术[J]. *海洋与渔业*, 2015(4): 62-63.
- Luo J B, Luo M F, Chen Y L. Intensive cultivation technology of parent fish of *Oxyeleotris marmoratus* in winter[J]. *Ocean and Fishery*, 2015(4): 62-63 (in Chinese).
- [ 65 ] 陈棠堂, 鄢国民. 褐塘鳢的繁养殖技术(一)[J]. *科学养鱼*, 2002(10): 10-11.
- Chen T T, Wu G M. Breeding techniques of *Oxyeleotris marmoratus* Bleeker (1)[J]. *Scientific Fish Farming*, 2002(10): 10-11 (in Chinese).
- [ 66 ] 陈棠堂, 鄢国民. 褐塘鳢的繁养殖技术(二)[J]. *科学养鱼*, 2002(11): 26-27.
- Chen T T, Wu G M. Breeding techniques of *Oxyeleotris marmoratus* Bleeker (2)[J]. *Scientific Fish Farming*, 2002(11): 26-27 (in Chinese).
- [ 67 ] 陈永乐, 刘毅辉, 朱新平, 等. 泰国尖塘鳢的生物学及其养殖[J]. *淡水渔业*, 2005, 35(1): 59-62.
- Chen Y L, Liu Y H, Zhu X P, *et al.* Biological properties and culture techniques of *Oxyeleotris marmoratus*[J]. *Freshwater Fisheries*, 2005, 35(1): 59-62 (in Chinese).
- [ 68 ] 吴光明, 代国庆. 泰国笋壳鱼养殖新技术[J]. *中国水产*, 2009(4): 32-35.
- Wu G M, Dai G Q. New culture technology of marble goby *Oxyeleotris marmoratus*[J]. *China Fisheries*, 2009(4): 32-35 (in Chinese).

- [ 69 ] 黄晓荣, 庄平, 章龙珍, 等. 人工养殖云斑尖塘鳢的生长特性[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(10): 1740-1743.  
Huang X R, Zhuang P, Zhang L Z, *et al.* Growth characteristics of *Oxyeleotris marmoratus* under artificial breeding[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(10): 1740-1743 (in Chinese).
- [ 70 ] Aini R N, Probosunu N, Setyobudi E. Length-weight relationship, condition factor and otolith shape of marble goby (*Oxyeleotris marmorata*) at sermo reservoir, yogyakarta[J]. *E3S Web of Conferences*, 2020, 147: 02006.
- [ 71 ] 魏成清, 杨婉玲, 陈永乐, 等. 不同放养密度对云斑尖塘鳢幼鱼生长和存活的影响[J]. *广东农业科学*, 2009(12): 151-152,160.  
Wei C Q, Yang W L, Chen Y L, *et al.* Effect of different density on growth and survival rate in *Oxyeleotris marmorata* fry[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2009(12): 151-152,160 (in Chinese).
- [ 72 ] 林晓琴, 宋长江. 笋壳鱼养殖过程中的日常管理[J]. *海洋与渔业*, 2016(4): 71.  
Lin X Q, Song C J. Daily management in the process of *Oxyeleotris marmorata*[J]. *Ocean and Fishery*, 2016(4): 71 (in Chinese).
- [ 73 ] 吴海荣, 周春霞, 王建国, 等. 笋壳鱼疾病的预测与预防[J]. *渔业致富指南*, 2013(11): 52-55.  
Wu H R, Zhou C X, Wang J G, *et al.* Prediction and prevention of *Oxyeleotris marmorata*[J]. *Fishery Guide to be Rich*, 2013(11): 52-55 (in Chinese).
- [ 74 ] 张邦杰, 莫介化, 李本旺, 等. 线纹尖塘鳢仔幼鱼的生长发育与池塘育苗研究[J]. *广东海洋大学学报*, 2007, 27(1): 27-33.  
Zhang B J, Mo J H, Li B W, *et al.* Growth of larvae and juveniles of *Oxyeleotris lineolatus* and its seedlings culture in pond[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2007, 27(1): 27-33 (in Chinese).
- [ 75 ] 陆剑林, 顾志明, 韩永林. 澳洲尖塘鳢引种养殖的初步观察[J]. *水产养殖*, 2003, 24(2): 12-13.  
Lu J L, Gu Z M, Han Y L. Preliminary observation on the introduction and breeding of *Oxyeleotris lineolatus*[J]. *Journal of Aquaculture*, 2003, 24(2): 12-13 (in Chinese).
- [ 76 ] 梁仁杰, 陆昌胜, 张邦杰, 等. 澳洲线纹尖塘鳢的繁殖与培育技术[J]. *淡水渔业*, 2004, 34(1): 53-55.  
Liang R J, Lu C S, Zhang B J, *et al.* Propagation and culture of Australian *Oxyeleotris lineolatus*[J]. *Freshwater Fisheries*, 2004, 34(1): 53-55 (in Chinese).
- [ 77 ] 潘淦, 仇登高, 池金泉. 澳洲笋壳鱼的工厂化养殖技术[J]. *渔业致富指南*, 2008(17): 37-38.  
Pan G, Qiu D G, Chi J Q. Industrialized culture technology of *Oxyeleotris lineolatus*[J]. *Fishery Guide to be Rich*, 2008(17): 37-38 (in Chinese).
- [ 78 ] 潘淦, 许爱娣. 澳洲笋壳鱼的全价浮性膨化饲料养殖技术规程[J]. *科学养鱼*, 2012(1): 71-72.  
Pan G, Xu A Y. Technical specification for breeding *Oxyeleotris lineolatus* with full price floating expanded feed[J]. *Scientific Fish Farming*, 2012(1): 71-72 (in Chinese).
- [ 79 ] 潘淦, 仇登高, 池金泉. 澳洲笋壳鱼的池塘养殖技术[J]. *渔业致富指南*, 2009(1): 52-53.  
Pan G, Qiu D G, Chi J Q. Industrialized culture technology of *Oxyeleotris lineolatus*[J]. *Fishery Guide to be Rich*, 2009(1): 52-53 (in Chinese).
- [ 80 ] 潘淦, 仇登高, 池金泉. 澳洲笋壳鱼的越冬养殖技术[J]. *渔业致富指南*, 2008(19): 44.  
Pan G, Qiu D G, Chi J Q. Overwintering culture technology of *Oxyeleotris lineolatus*[J]. *Fishery Guide to be Rich*, 2008(19): 44 (in Chinese).
- [ 81 ] 李本旺, 张邦杰, 陆昌胜, 等. 线纹尖塘鳢池塘规模化育苗技术研究[J]. *水利渔业*, 2007, 27(5): 33-36.  
Li B W, Zhang B J, Lu C S, *et al.* Studies on the large scaled rearing of the fry of *Oxyeleotris lineolatus* in ponds[J]. *Journal of Hydroecology*, 2007, 27(5): 33-36 (in Chinese).
- [ 82 ] 张邦杰, 陆昌胜, 李春枝, 等. 线纹尖塘鳢的池养生长特性与幼成鱼饲养研究[J]. *南方水产*, 2007, 3(4): 7-13.  
Zhang B J, Lu C S, Li C Z, *et al.* Research on growth of pond-reared *Oxyeleotris lineolatus* and young and adult fish culture[J]. *South China Fisheries Science*, 2007, 3(4): 7-13 (in Chinese).
- [ 83 ] 张邦杰, 李春枝, 陆昌胜, 等. 池养线纹尖塘鳢的生殖及全人工繁殖[J]. *经济动物学报*, 2006, 10(4): 223-227,233.  
Zhang B J, Li C Z, Lu C S, *et al.* Reproduction and artificial propagation of pond cultured *Oxyeleotris lineolatus*[J]. *Journal of Economic Animal*, 2006, 10(4): 223-227,233 (in Chinese).
- [ 84 ] 梁仁杰, 施时迪, 张邦杰. 池养线纹尖塘鳢苗种生长、



- 食性与培育研究[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(36): 11863-11866.
- Liang R J, Shi S D, Zhang B J. Study on the growth, feeding habits and culture of pond-reared *Oxyeleotris lineolatus* Fry[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(36): 11863-11866 (in Chinese).
- [ 85 ] 梁仁杰. 澳洲笋壳鱼苗种土池温棚越冬试验[J]. *科学养鱼*, 2005(10): 13-14.
- Liang R J. Test on fingerling over-winter of *Oxyeleotris lineolatus* in green-house of earthen pond[J]. *Scientific Fish Farming*, 2005(10): 13-14 (in Chinese).
- [ 86 ] 陈永乐, 刘毅辉, 陈昆慈, 等. 线纹尖塘鳢的形态生物学与核型[J]. *水产学报*, 2006, 30(4): 562-565.
- Chen Y L, Liu Y H, Chen K C, *et al.* The morphological character and karyotype of *Oxyeleotris lineolatus*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30(4): 562-565 (in Chinese).
- [ 87 ] 张邦杰, 李春枝, 钟良明, 等. 线纹尖塘鳢的形态特征、染色体核型及分类学地位[J]. *海洋湖沼通报*, 2008(2): 82-88.
- Zhang B J, Li C Z, Zhong L M, *et al.* The morphological character, taxonomy and karyotype of *Oxyeleotris lineolatus*[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2008(2): 82-88 (in Chinese).
- [ 88 ] 王茜, 齐兴柱, 骆剑, 等. 尖塘鳢属鱼类线粒体16S rRNA基因序列变异及分子系统进化[J]. *海南大学学报(自然科学版)*, 2009, 27(3): 245-251.
- Wang Q, Qi X Z, Luo J, *et al.* Sequences variation and molecular phylogeny of mitochondrial 16S rRNA gene of the genus *Oxyeleotris*[J]. *Natural Science Journal of Hainan University*, 2009, 27(3): 245-251 (in Chinese).
- [ 89 ] 林明辉, 朱华平, 苏换换, 等. 3个尖塘鳢引进群体繁育后代的遗传多样性分析[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(1): 213-220.
- Lin M H, Zhu H P, Su H H, *et al.* Genetic diversity analysis among offspring stocks of three imported *Oxyeleotris* populations by microsatellite markers[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2021, 52(1): 213-220 (in Chinese).
- [ 90 ] 莫介化, 李本旺, 张邦杰, 等. 线纹尖塘鳢胚胎和前期仔鱼发育的初步研究[J]. *南方水产*, 2006, 2(4): 31-36.
- Mo J H, Li B W, Zhang B J, *et al.* Preliminary study on developments of embryo and pre-larva of sleepy cod *Oxyeleotris lineolatus*[J]. *South China Fisheries Science*, 2006, 2(4): 31-36 (in Chinese).
- [ 91 ] 张邦杰, 李本旺, 莫介化, 等. 线纹尖塘鳢仔、稚鱼的形态发育[J]. *动物学杂志*, 2007, 42(1): 128-133.
- Zhang B J, Li B W, Mo J H, *et al.* The morphological development in larvae and juveniles of *Oxyeleotris lineolatus*[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2007, 42(1): 128-133 (in Chinese).
- [ 92 ] 李敏, 李春枝, 黄永强, 等. 云斑尖塘鳢和线纹尖塘鳢自交与杂交子一代幼鱼生长性及杂交优势分析[J]. *广东海洋大学学报*, 2012, 32(1): 64-67.
- Li M, Li C Z, Huang Y Q, *et al.* Comparative study on juvenile growth and heterosis of *Oxyeleotris marmoratus*, *O. lineolatus* and the hybridization (*O. marmoratus*♀×*O. lineolatus*♂)[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2012, 32(1): 64-67 (in Chinese).
- [ 93 ] 李春枝, 李敏, 黄永强, 等. 云斑尖塘鳢♀×线纹尖塘鳢♂杂交育种的初步研究[J]. *水产养殖*, 2010, 31(9): 30-32.
- Li C Z, Li M, Huang Y Q, *et al.* Hybridization breeding between *Oxyeleotris marmoratus*(♀) and *Oxyeleotris lineolatus*(♂)[J]. *Journal of Aquaculture*, 2010, 31(9): 30-32 (in Chinese).
- [ 94 ] 范小勇, 王茜, 齐兴柱, 等. 云斑尖塘鳢、线纹尖塘鳢及其杂交子一代间的遗传关系[J]. *海洋渔业*, 2009, 31(2): 128-133.
- Fan X Y, Wang Q, Qi X Z, *et al.* Studies on genetic relationship between *Oxyeleotris marmoratus*, *Oxyeleotris lineolatus* and their first filial generation[J]. *Marine Fisheries*, 2009, 31(2): 128-133 (in Chinese).
- [ 95 ] 朱晓平, 骆剑, 尹绍武, 等. 线纹尖塘鳢(♀)、云斑尖塘鳢(♂)及其杂交、回交子代遗传变异的微卫星分析[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(17): 147-153.
- Zhu X P, Luo J, Yin S W, *et al.* Microsatellite marker analysis of genetic variation in hybrid progenies and backcross progenies from *Oxyeleotris lineolatus*(♀) and *Oxyeleotris marmoratus* (♂)[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(17): 147-153 (in Chinese).
- [ 96 ] 骆明飞, 罗俊标, 张建东, 等. 不同杂交组合尖塘鳢形态性状和生产性能的比较研究[J]. *河北渔业*, 2016(8): 1-9,43.
- Luo M F, Luo J B, Zhang J D, *et al.* Comparative study on morphological characters and production performance of different hybrid combinations of *Oxyeleotris*[J]. *Hebei Fisheries*, 2016(8): 1-9,43 (in Chinese).

- [97] 苏换换, 马冬梅, 朱华平, 等. 云斑尖塘鳢与线纹尖塘鳢杂交种肌肉营养成分分析[J]. 水产科学, 2022, 41(2): 258-265.  
Su H H, Ma D M, Zhu H P, *et al.* Analysis of nutrient composition in muscle of hybrid sleeper *Oxyeleotris marmoratus*♀ and *O. lineolatus*♂[J]. Fisheries Science, 2022, 41(2): 258-265 (in Chinese).
- [98] 李启亮, 白晓光, 苏跃朋, 等. 云斑尖塘鳢和中华乌塘鳢属间杂交的初步研究[J]. 科学养鱼, 2013(8): 52-53.  
Li Q L, Bai X G, Su Y P, *et al.* Preliminary study on intergeneric hybridization between *Oxyeleotris marmoratus* and *Bostrichrys sinensis*[J]. Scientific Fish Farming, 2013(8): 52-53 (in Chinese).
- [99] 藏雪, 张丽娟, 汪亚媛, 等. 河川沙塘鳢(♀)与云斑尖塘鳢(♂)杂交子代胚胎发育研究[J]. 水产科技情报, 2015, 42(3): 113-118.  
Zang X, Zhang L J, Wang Y Y, *et al.* *Odontobutis potamophila*(♀) and *Oxyeleotris marmorata*(♂) hybrid progeny embryonic development research[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2015, 42(3): 113-118 (in Chinese).
- [100] 陈海港, 李伟, 张新铖, 等. 基于线粒体CO I 基因鉴别云斑尖塘鳢和线纹尖塘鳢的分子标记[J]. 基因组学与应用生物学, 2016, 35(6): 1388-1392.  
Chen H G, Li W, Zhang X C, *et al.* A molecular mark based on CO I gene for species identification of marbled goby (*Oxyeleotris marmoratus*) and sleepy cod (*Oxyeleotris lineolatus*)[J]. Genomics and Applied Biology, 2016, 35(6): 1388-1392 (in Chinese).
- [101] 樊佳佳, 马冬梅, 朱华平, 等. 基于simc1基因筛选3种尖塘鳢特异性SNP标记[J]. 基因组学与应用生物学, 2022, 41(2): 271-278.  
Fan J J, Ma D M, Zhu H P, *et al.* Screening of the specific SNP markers based on simc1 gene in three species of *Oxyeleotris*[J]. Genomics and Applied Biology, 2022, 41(2): 271-278 (in Chinese).
- [102] 王语同. 暗纹东方鲀和云斑尖塘鳢的混养试验[J]. 科学养鱼, 2011(9): 33-34.  
Wang Y T. Polyculture experiment of *Takifugu obscurus* and *Oxyeleotris marmorata*[J]. Scientific Fish Farming, 2011(9): 33-34 (in Chinese).
- [103] 许爱媛, 潘淦. 暗纹东方鲀与泰国笋壳鱼混养技术研究[J]. 科学养鱼, 2021(4): 41-43.  
Xu A Y, Pan G. Study on poly-culture technique for obscure puffer and sand goby[J]. Scientific Fish Farming, 2021(4): 41-43 (in Chinese).
- [104] Lim L S, Lai J S K, Yong A S K, *et al.* A preliminary study on the taste preferences of marble goby (*Oxyeleotris marmoratus*) for amino acids[J]. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 2015, 37(4): 397-400.
- [105] Lai S K J, Lim L S, Yong A S K, *et al.* A preliminary study to determine the potential of a prototype feeding stimulant in improving the weaning of juvenile marble goby (*Oxyeleotris marmoratus*)[J]. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 2018, 40(1): 163-166.
- [106] Lim L S, Lai S K J, Yong A S K, *et al.* Evaluation on the potential of betaine, taurine, nucleotide and nucleoside as feeding stimulant for juvenile marble goby *Oxyeleotris marmoratus* through behavioural assays[J]. International Aquatic Research, 2016, 8(2): 161-167.
- [107] Lim L S, Lai S K J, Yong A S K, *et al.* Feeding response of marble goby (*Oxyeleotris marmorata*) to organic acids, amino acids, sugars and some classical taste substances[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2017, 196: 113-118.
- [108] Teoh C F, Lim L S, Kawamura G. Remarkably high ingestion ratio of acidic food in juvenile marble goby, *Oxyeleotris marmorata*[J]. International Aquatic Research, 2018, 10(1): 95-100.
- [109] Lim L S, Teoh C F, Kawamura G, *et al.* Feeding performance of juvenile marble goby (*Oxyeleotris marmorata* Bleeker, 1852) fed acidified diets[J]. Fisheries & Aquatic Life, 2018, 26(4): 211-216.
- [110] Teoh C F, Lim L S L S, Kawamura G, *et al.* Growth performance and feed utilization of juvenile marble goby (*Oxyeleotris marmorata*) fed acidified diets[J]. Borneo Journal of Marine Science and Aquaculture, 2019, 3(2): 41-47.
- [111] 梁旭方, 李姣. 鳊鱼营养需求与饲料研制技术[J]. 科学养鱼, 2020(7): 66-67.  
Liang X F, Li J. Nutritional requirements and feed development technology of *Siniperca chuatsi*[J]. Scientific Fish Farming, 2020(7): 66-67 (in Chinese).
- [112] 梁旭方, 李姣. 鳊鱼饲料可控养殖技术[J]. 科学养鱼, 2021(1): 68-69.  
Liang X F, Li J. Technical system of feed controllable

- culture of mandarin fish[J]. *Scientific Fish Farming*, 2021(1): 68-69 (in Chinese).
- [113] 李胜杰, 白俊杰, 韩林强, 等. 大口黑鲈“优鲈3号”养殖实例[J]. *科学养鱼*, 2018(9): 44-45.  
Li S J, Bai J J, Han L Q, *et al.* Breeding example of largemouth bass *Micropterus salmoides* "youperch No. 3"[J]. *Scientific Fish Farming*, 2018(9): 44-45 (in Chinese).
- [114] 赵萃, 李胜杰, 白俊杰, 等. 大口黑鲈选育群体幼鱼转食配合饲料的驯食研究[J]. *水产科学*, 2019, 38(6): 846-850.  
Zhao L, Li S J, Bai J J, *et al.* Transfer food from zooplankton to formulated feed in juvenile selectively bred largemouth bass *Micropterus salmoides*[J]. *Fisheries Science*, 2019, 38(6): 846-850 (in Chinese).
- [115] Xu Y P, Hu Y L, Bao B L, *et al.* Complete mitochondrial DNA sequence of marble goby, *Oxyeleotris marmorata* (Bleeker, 1852)[J]. *Mitochondrial DNA Part A*, 2016, 27(2): 817-818.
- [116] Yang Z Y, Liang H W, Li Z, *et al.* Mitochondrial genome of the marbled goby (*Oxyeleotris marmorata*)[J]. *Mitochondrial DNA Part A*, 2016, 27(2): 1073-1074.
- [117] Syaifudin M, Jubaedah D, Taqwa F H, *et al.* Phylogenetic of marble goby (*Oxyeleotris marmorata* Blkr. ) in South Sumatra Based on cytochrome C oxidase subunit I (COI) gene[J]. *Genetics of Aquatic Organisms*, 2021, 6(1): GA433.
- [118] Zhao C, Zhu X P, Gu Y C, *et al.* Population genetic diversity of marble goby (*Oxyeleotris marmoratus*) inferred from mitochondrial DNA and microsatellite analysis[J]. *Journal of Genetics*, 2017, 96(1): 65-71.
- [119] Ha H C, Senoo S, Tsunemoto K, *et al.* Population structure of marble goby *Oxyeleotris marmorata* (Bleeker) in Southeast Asia inferred from mitochondrial DNA[J]. *Aquaculture Science*, 2011, 59(3): 383-391.
- [120] 朱晓平, 骆剑, 王茜, 等. 云斑尖塘鳢AFLP分析技术的建立[J]. *激光生物学报*, 2012, 21(3): 283-288.  
Zhu X P, Luo J, Wang Q, *et al.* AFLP molecular marker technology system of *Oxyeleotris marmorata*[J]. *Acta Laser Biology Sinica*, 2012, 21(3): 283-288 (in Chinese).
- [121] 姚俊伟, 许爱娉, 潘淦, 等. 云斑尖塘鳢遗传多样性的ISSR分析[J]. *广东农业科学*, 2012, 39(22): 169-172.  
Yao J W, Xu A Y, Pan G, *et al.* Analysis of genetic diversity of *Oxyeleotris marmoratus* bleeker by ISSR[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 39(22): 169-172 (in Chinese).
- [122] 朱晓平, 骆剑, 尹绍武, 等. 云斑尖塘鳢微卫星分子标记的筛选与检测[J]. *水产科学*, 2012, 31(4): 225-231.  
Zhu X P, Luo J, Yin S W, *et al.* Isolation and detection of microsatellite markers in marbled sleeper *Oxyeleotris marmoratus*[J]. *Fisheries Science*, 2012, 31(4): 225-231 (in Chinese).
- [123] Luo J, Zhu X P, Peng Y H, *et al.* Isolation and characterization of 16 microsatellite loci in marble goby (*Oxyeleotris marmoratus*)[J]. *Genetics and Molecular Research*, 2013, 12(2): 2020-2023.
- [124] 喻杰, 杨弘. 鱼类性别决定的遗传基础及性别控制技术在水产养殖中的应用[J]. *大连海洋大学学报*, 2020, 35(2): 161-168.  
Yu J, Yang H. Genetic basis of sex determination and application of sex control in fish: a review[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2020, 35(2): 161-168 (in Chinese).
- [125] 王芳, 丰爱秀. 水产养殖中鱼类性别决定的遗传基础及性别控制技术运用分析[J]. *江西水产科技*, 2021(6): 36-37,40.  
Wang F, Feng A X. Genetic basis of fish sex determination and application of sex control technology in aquaculture[J]. *Jiangxi Fishery Science and Technology*, 2021(6): 36-37,40 (in Chinese).
- [126] 施文瑞, 王磊, 陈军平, 等. 鱼类性别特异性DNA分子标记研究进展[J]. *水产科学*, 2018, 37(6): 862-866.  
Shi W R, Wang L, Chen J P, *et al.* A Review: research progress on sex-specific DNA molecular markers in fish[J]. *Fisheries Science*, 2018, 37(6): 862-866 (in Chinese).
- [127] Liu W, Zhang H, Xiang Y X, *et al.* A novel germline and somatic cell expression of two sexual differentiation genes, Dmrt1 and Foxl2 in marbled goby (*Oxyeleotris marmorata*)[J]. *Aquaculture*, 2020, 516: 734619.
- [128] Yamamoto Y, Hattori R S, Patiño R, *et al.* Environmental regulation of sex determination in fishes: insights from Atheriniformes[J]. *Current Topics in Developmental Biology*, 2019, 134: 49-69.
- [129] 周先文, 彭英海, 王晓清, 等. 水产动物的性别决定机制研究进展[J]. *湖南饲料*, 2021(2): 30-33.  
中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries



- Zhou X W, Peng Y H, Wang X Q, *et al.* Research progress on sex determination mechanism of aquatic animals[J]. *Hunan Feed*, 2021(2): 30-33 (in Chinese).
- [130] Liu W, Zhang H, Xiang Y X, *et al.* Molecular characterization of *vasa* homologue in marbled goby, *Oxyeleotris marmorata*: transcription and localization analysis during gametogenesis and embryogenesis[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2019, 229: 42-50.
- [131] Law D, Ping V C, Yee T C, *et al.* Use of amplified fragment length polymorphism and sequence characterized amplified region marker for identifying the sex of the *Oxyeleotris marmorata*[J]. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 2021, 44(1): 107-115.
- [132] 宋长江. 尖塘鳢常见病害及防治方法[J]. *海洋与渔业*, 2019(7): 80-81.
- Song C J. Common diseases and control methods of *Oxyeleotris marmoratus*[J]. *Ocean and Fishery*, 2019(7): 80-81 (in Chinese).
- [133] Wang Q, Zeng W W, Li K B, *et al.* Outbreaks of an iridovirus in marbled sleepy goby, *Oxyeleotris marmoratus* (Bleeker), cultured in southern China[J]. *Journal of Fish Diseases*, 2011, 34(5): 399-402.
- [134] 王庆, 曾伟伟, 刘春, 等. 云斑尖塘鳢肿大细胞病毒属虹彩病毒的分离与鉴定[J]. *水生生物学报*, 2010, 34(6): 1150-1156.
- Wang Q, Zeng W W, Liu C, *et al.* Identification and characterization analysis on a megalocytivirus isolated from diseased marbled sleepy goby, *Oxyeleotris marmoratus*[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, 34(6): 1150-1156 (in Chinese).
- [135] Yuan S, Xu L W, Weng M Q, *et al.* Outbreak of gill henneguyosis in pond-cultured *Oxyeleotris* spp. (Eleotridae, Perciformes) caused by *Henneguya shaharini* Shariff, 1982 (Myxosporea: Bivalvulida) in South China[J]. *Aquaculture*, 2021, 538: 736587.
- [136] 陈灼均. 笋壳鱼虹彩病毒病的防控[J]. *广东蚕业*, 2020, 54(4): 51-52.
- Chen Z Z. Prevention and control strategy of iridovirus disease in shoot shell fish[J]. *Guangdong Sericulture*, 2020, 54(4): 51-52 (in Chinese).
- [137] 唐绍林, 卢稀, 雷燕, 等. 笋壳鱼神经坏死病毒病的流行特点及防控建议, 有助降低发病率和死亡率[J]. *当代水产*, 2018, 43(1): 84-85.
- Tang S L, Lu X, Lei Y, *et al.* The epidemic characteristics and prevention and control suggestions of the disease of *Oxyeleotris marmoratus* and nervous necrosis virus disease will help reduce the incidence rate and mortality rate[J]. *Current Fisheries*, 2018, 43(1): 84-85 (in Chinese).
- [138] 麦耀宝, 陈智光, 陈灼均, 等. 云斑尖塘鳢烂身病病原分离鉴定及药敏试验[J]. *广东农业科学*, 2018, 45(6): 116-119.
- Mai Y B, Chen Z G, Chen Z Z, *et al.* Isolation, identification and drug susceptibility of *Aeromonas veronii* isolated from *Oxyeleotris marmoratus*[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2018, 45(6): 116-119 (in Chinese).
- [139] 邓海燕, 李本旺, 李希国, 等. 华南地区笋壳鱼病害防治技术[J]. *黑龙江水产*, 2021, 40(3): 51-54.
- Deng H Y, Li B W, Li X G, *et al.* Disease prevention and control technology of *Oxyeleotris* in South China[J]. *Northern Fisheries Heilongjiang*, 2021, 40(3): 51-54 (in Chinese).
- [140] 周阳, 李本旺, 林强, 等. 病毒灭活疫苗诱导云斑尖塘鳢脾脏转录组分析[J]. *基因组学与应用生物学*, 2019, 38(10): 4404-4412.
- Zhou Y, Li B W, Lin Q, *et al.* Transcriptome analysis of spleen induced by inactivated viral vaccine in marbled sand goby, *Oxyeleotris marmoratus*[J]. *Genomics and Applied Biology*, 2019, 38(10): 4404-4412 (in Chinese).
- [141] Guo X X, Zhou Y, Fu X Z, *et al.* Transcriptomic profiles reveal that inactivated iridovirus and rhabdovirus bivalent vaccine elicits robust adaptive immune responses against lethal challenge in marbled sleepy goby[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2020, 98: 429-437.
- [142] 沈国雄, 王兆礼. 笋壳鱼池塘养殖试验[J]. *水产养殖*, 2016, 37(3): 3-5.
- Shen G X, Wang Z L. Culture experiment of *Oxyeleotris marmoratus* in pond[J]. *Journal of Aquaculture*, 2016, 37(3): 3-5 (in Chinese).

## Research progress and prospect of marble goby (*Oxyeleotris marmorata*)

WANG Xuegeng, YU Jie, MIAO Yutao, MAI Kangsen, WANG Lei\*

(Guangdong Provincial Key Laboratory for Healthy and Safe Aquaculture, Institute of Modern Aquaculture Science and Engineering, School of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

**Abstract:** Since its introduction from Southeast Asia in the late 1980s, marble goby (*Oxyeleotris marmorata*) has been artificially bred and cultured in China over 3 decades, and has developed into an important and excellent aquatic fish species. With the fast expansion of the culture scale, the original varieties have been unable to meet the aquaculture requirements. Therefore, it is urgent to speed up the genetic and breeding research of the marble goby, and cultivate new variety with the ability to adapt to artificial compound feeds, fast growth, cold resistance, and disease resistance. This review summarizes the research progress of the marble goby around the world in the past half century. Firstly, we reviewed the feature and research progress of the reproduction, development and growth of embryos, larvae and adult fish of marble goby, and discussed the effects of temperature, salinity and hypoxia on marble goby. Secondly, we reviewed the achievement and progress of marble goby aquaculture, and the difficulties to overcome in the near future. Finally, we proposed the future directions for the marble goby research in aquaculture.

**Key words:** *Oxyeleotris marmorata*; aquaculture; feed training; genetic breeding; genetic resources

**Corresponding author:** WANG Lei. E-mail: wanglei@scnu.edu.cn

**Funding projects:** Guangzhou Science and Technology Program Project (202102020234); National Natural Science Foundation of China (22176066)