



卵形鲳鲹生物学及繁养殖技术研究进展

陈华谱^{1,2}

(1. 广东海洋大学 水产学院, 广东省名特优鱼类生殖调控与繁育工程技术研究中心, 广东省水产经济动物病原生物学及流行病学重点实验室, 广东省海水养殖生物育种工程实验室, 广东 湛江 524088; 2. 广东省农业技术推广中心, 广东 广州 510520)

摘要: 卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*) 是海水网箱、深远海大型化设施养殖的优良品种。近年来, 中国卵形鲳鲹养殖业快速发展, 卵形鲳鲹繁养殖关键技术获得突破, 但其基础生物学及遗传育种研究相对薄弱导致的养殖性能下降等问题已成为产业可持续发展的瓶颈。为揭示产业研究发展现状, 本文综述了卵形鲳鲹的生物学特征, 包括资源分布、栖息环境、形态及和繁殖生物学特征等, 总结了近年来相关人工繁育与养殖、生理生态、遗传学等方面的研究成果, 并结合卵形鲳鲹资源开发、养护及发展前景提出了未来的研究方向, 包括良种选育、基础遗传机制、性腺发育调控机制及新品系开发 4 个方面, 以期对未来卵形鲳鲹产业的稳定发展提供有益参考。

关键词: 卵形鲳鲹; 生物学; 繁育; 养殖

中图分类号: S 965.399

文献标志码: A

卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*) 隶属于鲈形目 (Perciformes) 鲈亚目 (Percoide) 鲹科 (Carangidae) 鲳鲹亚科 (Trachinotinae) 鲳鲹属 (*Trachinotus*)^[1], 俗称“金鲳”“黄腊鲳”“红三”等^[2], 因其具有肉质鲜嫩、食性简单、生长速度快和抗病性强等特点, 深受消费者和养殖企业的喜爱, 目前已发展成为中国粤、闽、台、琼、桂等省及港、澳地区网箱养殖的主要品种之一^[3]。自 1990 年中国台湾地区成功突破了卵形鲳鲹人工育苗技术以来, 华南沿海于 1992 年起陆续引进鱼苗进行网箱养殖, 而后国家开始将卵形鲳鲹人工育苗技术列为“九五”规划重点攻关项目, 其中, 林锦宗教授参与到该项目, 并于 1999 年成功培育出 25 万尾 4~5 cm 的幼鱼^[4]。同时, 深圳市水产技术推广站实验场, 采用网箱养殖成功培育了 10 万尾体长为 3~5 cm 的种苗^[3]。2013 年, 广东恒兴集团有限公司成功培育了 1 024.2 万尾 2.5~4.0 cm 的种苗, 该套生态系统规模化育苗技术成果已成功通过科技部门鉴定并得到了有效推广^[5]。“十五”期初广东省海洋与渔业局提出实施“一条鱼”工程, 即推广

和应用海水鱼“从苗种培育到餐桌”的全程质量管理, 旨在提高水产品质量和安全水平, 广东湛江等地针对卵形鲳鲹这一品种, 通过优化养殖技术、提高种苗质量等手段, 进一步完善了卵形鲳鲹产业布局。截至 2022 年, 全国卵形鲳鲹养殖产量已达 24.5 万 t, 以广东省产量居多, 达 11.9 万 t, 约占全国总量的 48.6%^[6]。卵形鲳鲹作为中国南方沿海地区重要的养殖鱼类, 在拓展沿海渔业资源和深远海养殖空间方面发挥着重要作用。

卵形鲳鲹属广泛分布于中国东海南部、南海到东南亚海域的暖水性中上层鱼类, 是中国南方地区重要的经济养殖鱼类。随着养殖规模的不断扩大, 卵形鲳鲹自身生物学特征 (如繁殖成熟度、雌雄个体难判断等) 导致的人工选育进程缓慢和近交衰退等问题日益突出, 最终引发养殖性能下降, 幼苗成活率低, 病害频发等问题, 极大阻碍了卵形鲳鲹养殖产业的稳定、可持续发展。因此, 卵形鲳鲹养殖生物学研究受到了越来越多的关注, 相关基础性研究和苗种繁育、养殖生产等工作稳步开展, 其中, 对卵形鲳鲹生物学特征的报道已较为全面, 包

收稿日期: 2024-06-26

基金项目: 广东省重点领域研发计划 (2021B0202020002); 湛江市科技计划项目 (2022A01214); 广东省人才项目 (2023TQ07A888); 广东省现代化海洋牧场适养品种核心技术攻关项目 (2024-MRB-00-001); 三亚市专项科研试制项目 (2015KS05)

作者简介: 陈华谱 (1983—), 男, 博士生导师, 教授。E-mail: chenhp@gdou.edu.cn

括资源分布、栖息环境和形态特征等。随着人工繁养殖技术的陆续突破和优化,各种卵形鲳鲹新品种应运而生,卵形鲳鲹养殖陆续从池塘养殖向规模化的深远海网箱养殖进化,并发展成为海洋牧场重要的开发品种。相关研究中,探究其系统发育关系,评估群体遗传多样性水平及种群遗传结构,筛选性别相关分子标记,初步奠定了卵形鲳鲹遗传和群体多样性研究的基础,但相关研究内容仍较少,且研究基础薄弱。本文综述了卵形鲳鲹生物学、人工繁育、增养殖和遗传学等相关研究进展,以期为进一步开展卵形鲳鲹的生物遗传学研究,推动增养殖产业和渔业资源的可持续发展提供参考。

1 卵形鲳鲹的生物学特征

1.1 资源分布与栖息环境

卵形鲳鲹为暖水性中上层洄游鱼类,具有群居习性,广泛分布于东南亚和地中海地区的热带和亚热带等海域,在中国黄海、渤海、东海、南海均有分布,主要集中于福建、台湾、海南、广西及广东等省份的近岸海域。卵形鲳鲹自然栖息于5~20 m水深的沿岸或河口海域^[7],属于肉食性鱼类,幼鱼时栖息于河口海湾,展现出较强的群聚性行为,成鱼时期则向外海深水转移,主要摄食浮游动物、小型甲壳类和鱼类,最适生长水温为22℃~28℃,不耐低温,可昼夜不停快速游泳,越冬期在每年的12月下旬——次年3月上旬^[7]。卵形鲳鲹作为典型的广盐性鱼类,幼鱼最适盐度为26~34^[8],盐度为34时生长最快^[9],而成鱼最适盐度最广,为3~33,盐度15以下生长最快^[10]。其所需最低溶氧含量为2.5 mg/L,这是由其活跃的游泳行为所导致,因此多数卵形鲳鲹养殖在海上的鱼排或深水网箱中。相较于其他混养鱼种,卵形鲳鲹具有较强的抗病能力,鳞片不易脱落,耐力强,且稚、幼鱼间不存在自相残食现象^[11-12]。

1.2 形态特征

卵形鲳鲹体型呈卵圆状,高而侧扁,尾柄短细,背部蓝青色,腹部银色,体侧无斑点^[1]。头小而高,头长为吻长的3.70~4.92倍,为眼径的4.59~6.58倍^[11]。吻圆钝,前端截形,眼小,位于前方,脂眼睑不发达,吻长大于眼径;鼻孔每侧各两个,前鼻孔圆形,后鼻孔裂缝状,紧密相邻;口小,前下位,与眼下缘在一条水平线上,微微向上倾斜;前颌骨可伸缩,上颌骨后端延伸至眼前缘或稍靠后,上下颌、犁骨和腭骨均有绒毛状齿,齿随鱼长大逐渐退化;鳃孔大,前鳃盖骨和鳃盖骨后

缘光滑,共7根鳃盖条,鳃耙短,鳃耙数为6+9^[13]。卵形鲳鲹体长为体高1.67~2.31倍,为头长3.66~4.15倍。个体详细的鳍条公式如下:背鳍0~1,Ⅵ,Ⅰ-19~20;臀鳍Ⅱ,Ⅰ-17~18;腹鳍Ⅰ-5;尾鳍17^[11]。第一背鳍有一条向前平卧的倒棘,臀鳍和第二背鳍也有,均呈镰形,且后两者显著长于腹部,奇鳍边缘浅黑色,尾鳍叉形^[11]。头部除眼后有鳞片覆盖外,其余部分裸露;第二背鳍与臀鳍有一低的鳞鞘;身体和胸部鳞片埋在皮下,侧线上方纵列鳞片135~163枚^[11]。侧线前部稍弯曲呈波状。脊椎骨10+14^[11]。游泳时,各鳍呈现金黄色及浅红色,经阳光照射反光为红色。

生物形态学作为分类学研究的重要依据,不仅用于基础的形态特征研究,也是其背后遗传学、发育学、生物起源与进化研究以及资源鉴定的基础。区又君等^[14]用通径分析法分别探究了卵形鲳鲹1、4、7、10、13月龄选育群体形态性状对体质量的影响,发现1、4月龄个体全长对体质量的直接影响最大,而7、10、13月龄个体则是体高对体质量的影响最大。程大川等^[15]补充了3月龄个体形态性状对体质量的影响分析,筛选出了全长、体宽、体高和尾柄高4个关键影响性状,并建立了通过可用于卵形鲳鲹实际生产中预测体质量值的多元回归方程,为卵形鲳鲹的初步选育提供了基础理论数据。黄小林等^[16]分别有针对性地45、65、110日池塘养殖群体的形态性状与体质量进行灰色关联分析,发现对体质量影响最大的形态性状分别为体长、全长和体高,这种新兴的分析方法进一步弥补了原分析方法的不足,为人工选育提供了更具参考性的技术参数。

除形态发育相关研究外,国内研究人员采用形态解剖、组织学和组织化学方法首次报道了卵形鲳鲹消化道的组织学结构特点。卵形鲳鲹的消化系统包括消化管与消化腺,口咽腔、食道、胃、肠等器官分界明显。口咽腔较小,上下唇布满绒毛状突起,舌呈前端游离的半椭圆形,鳃耙内侧具有绒毛状细齿^[17]。口咽腔齿类型丰富,包括上咽骨齿、下咽骨齿、鳃骨齿等。口咽腔后紧接着短粗的食道,内有纵行皱褶8~10个;“U”形胃,盲囊部明显;胃幽门部与前肠之间由25~35条幽门盲囊连接而成^[17]。肠短,内有纵行皱褶,前肠较中肠粗,后肠近肛门处变粗而肠壁变薄。肝胰脏是卵形鲳鲹的消化腺,红褐色,位于胃上方,前端连于腹腔,后端游离,分左右两叶(左叶>右叶);椭圆形胆囊,位于肝右叶上方^[17]。

鱼类骨骼发育研究对于理解物种分类、鱼类构

造与功能关系,以及掌握不同发育阶段的环境偏好至关重要^[18-20]。研究发现,卵形鲳鲆仔稚鱼在正常培养条件下的畸形率高达 30% 以上^[21],研究者初步从表观和分子两个角度,通过对正常条件、不同温度和营养强化条件下仔、稚鱼骨骼畸形状况的调查统计及比较转录组的测序分析,评估了影响卵形鲳鲆骨骼畸形的条件和原因,并筛选验证了影响骨骼发育的关键基因 (*RXR α* , *RXR β*)^[22-24]。后 Wu 等^[25]首次报道了卵形鲳鲆养殖中观察到的高比率鳃盖骨畸形现象,分别从形态学、生化分析眼周骨中钙 (Ca)、磷 (P)、镁 (Mg) 含量变化分子水平上的 Illumina 测序分析及差异基因表征等三个方面探究了鳃盖骨畸形发育产生的潜在影响因素,发现单侧畸形的鳃盖骨中 Ca、P 和 Mg 含量升高,破骨细胞活性增强,骨吸收增加,并筛选到了骨代谢相关基因,这些研究数据进一步完善了卵形鲳鲆优质鱼苗培育的基础数据库。

1.3 繁殖生物学

卵形鲳鲆属离岸大洋性一次性产卵鱼类,个体生殖力在 40~60 万粒^[3,26],体长为 1.2~2 cm 时开始游向近岸,长至 13~15 cm 后游向离岸海区^[27]。卵形鲳鲆性腺成熟时间因海区水温的差异而有所变化,春季海南三亚海区水温高,性腺成熟时间最早,产卵期发生于 3—4 月份,广东大亚湾海区 5 月开始产卵,福建沿海则在 5 月中旬—6 月初进行催产,台湾海区的人工繁殖一般从 4 月持续至 9 月^[3,28]。卵形鲳鲆雌雄个体在其整个生长期和性成熟阶段不具备特异的外形特征,这就导致繁育期间雌雄难以从形态上区分,为解决这一问题,蒋小珍等^[29]根据一龄商品规格鱼解剖性腺的形态学差异及伊红染色切片观察,首次建立了可用于早期卵形鲳鲆的性别鉴定方法。

为了解卵形鲳鲆的性腺发育和性成熟年龄,方永强等^[30]将早期卵子发生的过程分为两个主要阶段,第一阶段常见于 1~2 龄鱼的卵巢,卵原细胞首次进入成熟分裂前期,随后核内同源染色体配对进入联会丝复合体期,部分核膜消失,同源染色体分开,联合丝复合体也逐渐消失,卵原细胞发育进入双线期发育成为早期卵母细胞。卵形鲳鲆在 3~4 龄开始进入小生长期,随后卵母细胞发育至成熟,其自然条件下的性成熟年龄为 7~8 龄,因此使用外源性激素培育亲鱼也是提早性腺发育和成熟时间的重要手段^[28-29]。成熟时期的卵呈透明无色的圆形,膜光滑有浮性,卵径为 950~1 010 μm ;卵正中央有 1 个微黄色的油球,平均直径约 342.76 μm ,

占卵径的 1/3^[2,28]。研究发现,在水温为 18 $^{\circ}\text{C}$ ~ 21 $^{\circ}\text{C}$ 、盐度 31 条件下,卵形鲳鲆受精卵经历 2 细胞期、4 细胞期、8 细胞期、多细胞期、原肠期等多个发育阶段,历时 41 h 27 min 后孵出仔鱼^[2,30-31]。许晓娟等^[31-32]分析了卵形鲳鲆总孵化率、畸形率与盐度的相关关系,最终预测得到胚胎孵化的适盐范围为 14.9~39.4,最适盐度为 26.0~28.2,王贵宁等^[33]发现,孵化温度 24 $^{\circ}\text{C}$ 、盐度 32 时,卵形鲳鲆仔鱼存活率和发育情况最佳。

目前,卵形鲳鲆的繁殖生理相关研究薄弱,促性腺激素释放激素 (gonadotropin releasing hormone, GnRH) 是生殖调控的重要激素针,本实验室前期以 GnRH 为切入点,在卵形鲳鲆中鉴定了 3 种 *gnrh* 基因亚型 (*sbgnrh*、*cgnrh-II* 和 *sgnrh*),研究发现这 3 种 GnRH 均可促进 *gth* 基因的表达,且性激素对 3 种 GnRH 具有抑制作用,但呈现的作用效率不同,其中, sbGnRH 对 GTHs 表现出的脱敏效应及 E2/MT 对 sbGnRH 的负反馈调节初步验证了其在卵形鲳鲆生殖调控过程中发挥重要作用^[34]。而后 Ren 等^[35]对 sbGnRH 多肽处理组的肝脏进行了比较转录组的测序分析,发现 sbGnRH 可能通过作用于肝脏来影响 *vtg* 等生殖调控相关基因的表达,最终参与到卵形鲳鲆的性腺发育及生殖调控过程。雌二醇 (E2) 作为活性最强的雌激素,可通过雌激素受体 (Estrogen receptor, ER) 发挥调控功能, Li 等^[36]验证了卵形鲳鲆存在 3 种不同的 ER 亚型 (*er α* 、*er β 1* 和 *er β 2*),并且发现外源性雌二醇能够促进卵形鲳鲆体内 *ers* 的表达以促进 *vtgs* 基因及蛋白的表达, *Er α* 、*ER β* 分别通过调控 *vtg-B* 和 *vtg-A* 的表达参与卵形鲳鲆卵黄蛋白的发生,这些结果为后续卵形鲳鲆繁殖生物学生理调控机理的完善提供了参考资料。

2 卵形鲳鲆的人工繁育与养殖

2.1 人工繁育

近年来,随着各地区卵形鲳鲆人工繁育研究的深入,广东、海南等多个地区的相关繁育技术日趋成熟。陈伟洲等^[3]、区又君^[26]、黄进光等^[37]、彭汝运^[38]先后对卵形鲳鲆人工育苗技术进行了优化和总结,归纳为 5 个主要步骤:亲鱼的选择及强化培育、人工催产、产卵与受精卵的采集、孵化和种苗培育。首先,在繁殖季节前 3 个月选择适龄且健壮的亲鱼,采用精养方法进行营养强化,促使亲鱼提前成熟并延长其产卵周期。亲鱼培育一般选在潮流畅通的海水网箱中进行^[37-39],食物以新鲜的枪

乌贼、玉筋鱼、蓝圆鲈和沙丁鱼等小杂鱼为主，并辅以适量的复合维生素和维生素 C、E 以促进性腺发育^[29,37-39]。当水温升至 23 ℃ 以上时，选取腹部软且充盈的亲鱼，通过注射绒毛膜促性腺激素（HCG）、促排卵素 2 号或 3 号（LRH-A2 或 LRH-A3），以及马来酸地欧酮（DOM）等进行催产，注射量参照性腺成熟的程度和亲鱼体质量，注射后的亲鱼在产卵网箱中经 28~40 h 后自然产卵、受精，由于卵形鲳鲹雌雄个体外形特征无明显差异，因此注射催产激素催产时无需鉴定雌雄^[40]。

卵形鲳鲹的育苗方式主要有室内全人工培育、室外土池培育及二者结合的方式，室内育苗的优势在于可调控生长条件、苗种密度，成活率高，但因养殖模式的特殊性导致成本较高，饵料种类单一，苗种生长发育缓慢，死亡风险高。而池塘育苗虽受自然条件影响较大，但其育苗水质稳定、育苗时间短、天然饵料种类多且营养丰富、易于操作，培育出来的种苗健壮且生长速度快。因此池塘育苗适用于水温较高、受冷气影响较小地区，如海南。而福建、广东等地因早期易受冷气影响，适合室内水泥池育苗^[3,26-28]。卵形鲳鲹在育苗期间常见的病害有胃肠性疾病、细菌性烂皮病及寄生虫性病害，土池高密度生态育苗因其环境特殊更易滋生病害，因此在育苗过程中，要坚持“防治结合，以防为主”，加强水质和饵料饲养管理^[3,39-40]。

2.2 新品种选育

随着卵形鲳鲹人工繁育技术的成熟，对卵形鲳

鲹种鱼的选育和研发工作陆续出现突破性进展（表 1）。其中，较具代表性的就是“海南蓝粮科技有限公司”，30 多年来，不仅在人工催产和孵化方面取得了显著进展，而且在选育方面也获得了重要突破，该公司于 2021 年推出了聚焦于生长性能和适应能力的卵形鲳鲹新品系——“蓝粮壹号”，截至 2024 年，“蓝粮壹号”已顺利选育出第五代卵形鲳鲹种鱼，共成功推出六代卵形鲳鲹种苗，为卵形鲳鲹养殖行业持续注入新活力。2022 年，农业农村部公告推广的“晨海 1 号”，是海南晨海水产有限公司联合高校科研单位合作开发的以“成活率、生长率”为优势的卵形鲳鲹新品种，该品种以群体选育的雌性卵形鲳鲹与雄性布氏鲳鲹杂交获得的 F1 代卵形鲳鲹为母本，与雄性卵形鲳鲹进行回交所获得的二倍体杂交卵形鲳鲹，经养殖测试，与普通卵形鲳鲹品种相比，“晨海 1 号”规格齐整，成活率达 82% 以上，平均生长速度较普通卵形鲳鲹快 20%~30%。中国水产科学研究院张殿昌研究员团队在卵形鲳鲹新品系选育中也取得了重大突破，团队围绕卵形鲳鲹产业关键环节，运用现代育种技术，目前已培育出快速生长卵形鲳鲹新品系——“鲳丰 1 号”，并计划于 2025 年完成水产新品种的申报。随着卵形鲳鲹新品种的陆续开发，相较于传统养殖品系，新品种在生长速度、成活率这两个方面均得到了质的提升，为实现卵形鲳鲹鱼苗良种化及卵形鲳鲹养殖业的健康可持续发展作出了新的贡献。

表 1 3 个卵形鲳鲹新品种

Tab. 1 Three new varieties of *Trachinotus ovatus*

新品系 new varieties	选育指标 indicators of selection and breeding	年份 year	育种单位 fish breeders
蓝粮壹号	聚焦生长性能、适应能力	2021	海南蓝粮科技有限公司
晨海 1 号	为杂交卵形鲳鲹，聚焦于成活率、生长速度	2022	海南晨海水产有限公司、湖南师范大学、海南热带海洋学院、中国海洋大学三亚海洋研究院、海南大学
鲳丰 1 号	快速生长	2024	中国水产科学研究院

2.3 池塘养殖

卵形鲳鲹抗病能力强、生长速度快、易于捕捞，这些特点适合池塘养殖，且单养或混养均可，当年的养殖规格就可达 500 g 以上。池塘养殖技术主要分为池塘准备、水质培育、放养及日常管理 4 个关键步骤。2008 年，汕尾市马宫镇养殖户首次尝试利用虾池进行卵形鲳鲹、凡纳对虾混养，结合它们生活在不同水层的互补特点，养殖面积达 200 hm²，取得了良好的效果和产量^[41]。随后于方兆等^[42]在珠海咸淡水地区开展了卵形鲳鲹、青蟹与南美白对虾或斑节对虾的混养试验，并总结了混

养模式关键技术，该模式在一定程度上缩短了养殖周期，降低了整体养殖风险，提高了养殖效益。受市场对水产食品质量要求提升以及社会对生态平衡的关注，综合生态养殖得到广泛推广。2013 年，林壮炳等^[43]设计了一种以卵形鲳鲹为主养品种，搭配凡纳滨对虾，辅以底泥腐屑食性鱼类鲢、棱梭鱼等的池塘生态混养模式，试验效果验证了低碳生态混养技术的可行性。区又君等^[44]结合牡蛎的生态价值和养殖特点，在卵形鲳鲹、凡纳滨对虾、青蟹混养中加入牡蛎，进一步丰富了生态位层次，充分利用了水体空间，构建了兼具经济和生态价值的滩涂多级综合生态养殖模式。为完善卵形鲳鲹混养

技术，虞为等^[45]对比了凡纳滨对虾单养和凡纳滨对虾-卵形鲳鲹混养的试验效果，发现养殖 1 个月的凡纳滨对虾与卵形鲳鲹混养，在改善水质的基础上还提高了虾的生长性能和产量，再次证明对虾-卵形鲳鲹混养模式适于推广和应用。

2.4 网箱养殖

卵形鲳鲹因其抵抗风浪能力强、能有效利用养殖空间及全程投喂饲料等优点，已发展成为中国南方网箱养殖的主要品种之一。目前，国内主要采用浮筏式框架网箱养殖和深水网箱养殖两种方式，其关键技术包括海区选择、网箱准备、种苗饲养和日常管理^[27]。网箱养殖需选在风浪小、水体交换充分、无污染的海区，根据鱼体大小及养殖深度选择合适规格的网箱固定，然后将体态匀称、活泼、无损伤、无寄生虫的健康苗种放养其中，最后是日常管理，做到勤观察、检查、清洗和病害防治^[27,46-47]。近年来，随着陆源和养殖污染加剧，浅湾网箱养殖易发病害，而深水网箱由于水体流通快、水质稳定等特点，该问题得到了显著改善。2005 年 7 月，陶启友等^[48]在广东湛江开展了深水网箱养殖试验，并探究了相关关键技术，效果显著，研究发现，规格为 12~14 g/尾的卵形鲳鲹在深水网箱中的最佳养殖密度为 40~50 尾/m³，与此同时，多个科研单位联合水产公司也在各地陆续开展卵形鲳鲹深水网箱养殖试验，总结了大量的养殖技术和管理规范，在网箱抗风浪等技术上不断突破，为鲳鲹养殖技术

推广提供了关键性的助推力^[47-53]。

2.5 深远海平台养殖

近年来，随着“海洋强国”“海上粮仓”等国家战略的提出，深远海养殖平台发展迅速。2018 年以来，国内先后建成了以大型网箱、工程围栏、养殖工船三类主体设施模式为主的深远海养殖平台。随着深水网箱养殖技术及装备的不断进步，卵形鲳鲹因其对复杂海况的适应能力、可有效利用养殖空间及摄食人工饲料等特点，已成为拓展深远海养殖空间的热门品种。“德海 1 号”是全球首个浮体与桁架混合结构的万吨级智能化养殖渔场，2018 年 9 月投放至今，已完成了对卵形鲳鲹等主养品种的养殖试验，与普通养殖条件相比养殖效果显著，30 万尾卵形鲳鲹鱼苗经 5 个多月的养殖，首批渔获产量达 50 t。2019 年，中国第一座半潜式波浪能养殖旅游平台“澎湖号”完成投放，首次投入的卵形鲳鲹鱼苗养殖周期显著缩短，鱼肉品质大幅提升。随后明阳集团研发投运的全球首台风渔一体化智能装备“明渔一号”于 2023 年 8 月成功投放使用，首批养殖卵形鲳鲹产量超过4 500 kg，其中许多鱼重达 1 kg 以上。此外，陆续建成的白龙珍珠湾海域国家级海洋牧场示范区、“恒焱一号”、“海威 1 号”、“海威 2 号”及建设中的“海威 3 号”，均将卵形鲳鲹作为重要的深远海养殖品种。这些平台实现了卵形鲳鲹养殖效率和经济收益的最大化，推动了海水养殖产业的健康可持续发展。

表 2 以卵形鲳鲹为主养品种的深远海养殖平台

Tab. 2 Summary of deep-sea aquaculture platforms with <i>Trachinotus ovatus</i> as the main culture species				
深远海养殖平台 aquaculture platforms in deep-sea	投放年份 year	技术特点 technical characteristic	养殖品种 cultivated species	设计单位 designer
德海 1 号	2018	配备智能化投喂养殖专家系统、 监控监测系统智能化应用	卵形鲳鲹	中国水产科学研究院南海 水产研究所、天津德赛公司
明渔一号	2023	风渔一体化智能装备	卵形鲳鲹	明阳集团
澎湖号	2019	半潜式波浪能养殖旅游平台	卵形鲳鲹、石斑鱼	广州能源研究所
恒焱一号	2024	半潜锚泊柱稳式养殖平台	卵形鲳鲹、 章红鱼、鲉鱼等	广东蓝水深远海 装备科技有限公司
白龙珍珠湾海域国家级 海洋牧场示范区	2015	桁架结构大型智能化 方形深海抗风浪网箱	卵形鲳鲹、贝类	广西海牧海洋科技有限公司
海威 1 号	2022	抗风浪能力强、智能化 程度高、养殖空间充足	卵形鲳鲹、黑鲷、 石斑鱼、军曹鱼	广东海威农业集团有限公司
海威 2 号	2023	海工型绿色智能养殖平台	卵形鲳鲹、鲷鱼、军曹鱼、 鞍带石斑鱼	广东海威农业集团有限公司
海威 3 号	建造中	深海养殖与渔业旅游相结合	待定	广东海威农业集团有限公司

3 卵形鲳鲹的生理与生态

3.1 温度

卵形鲳鲹作为典型的不耐低温鱼类，最适生长

水温为 22 ℃~28 ℃，当水温下降到 16 ℃~18 ℃时，摄食量减少，14 ℃~16 ℃时停止摄食，低于 14 ℃则开始死亡。卵形鲳鲹对于低温的变化极为敏感，较小的温度波动都可能导致大量死亡^[54]。研究表明，养殖水温会影响卵形鲳鲹幼鱼体内消化

酶的活性,且酶活性与生活环境的温度相适应,消化酶活性的最适反应温度远高于栖息水温^[55]。作为变温动物,温度变化也会影响其生长、发育及新陈代谢。王刚^[56]首次运用封闭流水式试验方法发现,卵形鲳鲹幼鱼耗氧率和排氨率随着温度的升高呈先增大后减小趋势,27℃时达到最大值,结果表明卵形鲳鲹幼鱼较快生长的最适温度为26℃~30℃。李金兰等^[57]利用间歇流水式呼吸仪探究了温度对卵形鲳鲹成鱼呼吸代谢的影响,发现在19℃~33℃,鱼的耗氧率、排氨率、代谢率、排泄率会随温度升高而增大,并在28℃~33℃达到稳定,进一步验证完善了成体卵形鲳鲹机体的适温范围,为卵形鲳鲹的代谢研究及健康养殖等提供了基础资料。

3.2 盐度

卵形鲳鲹具有广泛的盐度适应性。研究表明,幼鱼最适盐度为26~34^[8],在34时生长最快^[9]。相比之下,成鱼适盐范围更广,为3~33,盐度低于15时生长最快^[10]。卵形鲳鲹幼鱼的盐度胁迫试验发现,不同生长阶段,盐度对其蛋白酶活性的影响不同。大规格幼鱼中,盐度的增加会抑制肠和幽门盲囊的蛋白酶活性,同时淀粉酶、脂肪酶活性在胃、肝、肠和幽门盲囊中随盐度增加呈现一定的变化规律^[27,58]。此外,盐度也是影响鱼体新陈代谢的重要因素。盐度梯度试验发现,卵形鲳鲹幼鱼耗氧率和排氨率在低盐组达到最高,这两个指标还会随盐度增加而减小^[27,59-61]。为了进一步研究卵形鲳鲹在盐度胁迫下的渗透压调节机制,赵超平^[62]通过高通量转录组测序分析,筛选出了相关基因和调控通路,发现急性胁迫下渗透生理指标和差异基因表达呈现规律变化,从分子角度初步解析了卵形鲳鲹的渗透调节机制。

3.3 氧气

卵形鲳鲹所需氧气含量应保持在5 mg/L以上,因此通常养殖在海上的鱼排或深水网箱中。溶解氧水平会影响鱼类的代谢及组织器官功能,通过比较卵形鲳鲹在急性低氧和常氧下的血清生化指标变化,发现低氧对卵形鲳鲹基础代谢有影响^[59]。溶氧对鱼类生长存活影响明显,为明确卵形鲳鲹的低氧耐受能力,陈世喜^[63]统计了其窒息点及低氧胁迫下的存活量,观察到了肝脏和鳃器官在胁迫下的变化,分别从生化指标和分子层面解析了低氧胁迫下能量代谢、氧化应激反应及相关基因(LDH-A、MMP9)

表达的变化规律。为进一步了解卵形鲳鲹低氧分子的遗传机制,有研究者利用GWAS对耐低氧性状进行了关联分析,筛选出与耐低氧性状显著关联的分子标记,并联合鳃组织的转录组分析,从分子角度解析了低氧胁迫对卵形鲳鲹的影响^[64-65]。

4 卵形鲳鲹的遗传学研究进展

4.1 染色体组型

染色体研究是遗传学的基础,对物种基本遗传学分类、鱼类的演化及物种的进化研究具有重要意义。2007年,王小丽^[66]首次获得了卵形鲳鲹的中期染色体分裂相图和核型公式,并初步建立了染色体核型图谱:2n=48, 2n=8m+40t, NF=56。同时基于上述数据对卵形鲳鲹进行了带型分析,标准化了鲳鲹的核型分析方法。同年,舒琥等^[67]详细分析了卵形鲳鲹染色体的核型参数,核型公式更加精细,为2n=48, 2n=2sm+6m+40t,为后续鲳科鱼的核型特征分析奠定了基础。2019年,中国水产科学研究院南海水产研究所联合院生物技术研究中心,首次绘制完成卵形鲳鲹基因组染色体图谱,为后续解析卵形鲳鲹的遗传基础及分子选择育种等奠定了基础^[68]。Guo等^[69]单独组装了一个雄性卵形鲳鲹的染色体水平基因组,通过QTL定位、GWAS分析,筛选出了性别SNP位点模拟分析,初步推测其性别决定系统为ZZ/ZW。

4.2 遗传与群体多样性

自20世纪90年代起,国外研究人员根据微卫星核心序列排列方式对卵形鲳鲹的微卫星DNA序列进行了分型分析,将其分为完美型、非完美型和混合型3种^[70]。随后,彭金霞等^[71]、韦媛媛等^[72]克隆与分析了卵形鲳鲹线粒体16S rRNA基因和COI基因,通过测序比对筛选出钦州湾种群16S rRNA基因上的7个变异位点,并据此初步构建了鲳科的系统进化树。微卫星标记是群体进化、遗传学分析的基础应用标记,陈秀荔等^[73]、Sun等^[74]首次采用生物素-磁珠吸附微卫星富集法筛选35个多态性微卫星位点,建立了卵形鲳鲹微卫星文库,Sun等^[74-75]也筛选到21个微卫星标记,并对应2~10个等位基因,这些标记数据为后续卵形鲳鲹的遗传多样性分析和遗传育种提供了基础性参考。

了解群体的遗传结构对育种工作科学性和经济性的提高至关重要。吉磊等^[76]使用6对微卫星标

记对海南、深圳、福建 3 个地区的卵形鲳鲹养殖群体进行了遗传差异分析,发现 3 个群体的遗传多样性均较高,且福建与深圳群体的亲缘关系较近。而后彭敏等^[77]利用 AFLP 分子标记技术分析了卵形鲳鲹北部湾野生群体和养殖群体的遗传多样性,发现养殖群体存在近交衰退的问题。Sun 等^[74-75]采用 FIASCO 法构建了卵形鲳鲹微卫星 (microsatellite, SSR) 富集文库,筛选得到 21 个多态性微卫星位点,初步解析了广东大亚湾和海南三亚两个育种群体遗传多样性水平和种群遗传结构。卵形鲳鲹与其他 6 种鲹科鱼类的系统发育关系也已被阐明,鲳鲹亚科与鲹亚科形成姐妹群,竹筴鱼属与圆鲹属形成姐妹群,这两个姐妹群与若鲹属聚为一支^[77]。

为解决卵形鲳鲹性别无法根据形态性状辨别的问题,Zhang 等^[78]基于 11 个高多态性微卫星位点构建了卵形鲳鲹亲子鉴定技术,并基于此建立了全同胞家系,通过群体选育和家系选育,构建了卵形鲳鲹的遗传连锁图谱,并定位到了与生长性状相关的位点。此后,Luo 等^[79]重新组装了卵形鲳鲹的雌雄基因组,根据建立的全同胞家系,利用 202 个 F1 个体全基因组重测序结果构建了高密度遗传图谱,并在 LG15 上发现了一个 3.5 Mb 的性别决定区,确定了 3 个与生长显著相关的 SNP 位点,这些结果对卵形鲳鲹的性染色体进化、性别决定及生长有了更深入的认识。近年来,随着高通量测序的快速发展,有研究者通过重测序和 GWAS 联合分析的方法筛选出了多个与生长性状、低氧耐受相关 SNP 和功能候选基因,这些数据为卵形鲳鲹的遗传育种打下了坚实的理论基础^[80-81]。

5 展望

5.1 深入开展良种选育相关的基础和应用研究工作

中国卵形鲳鲹种质资源相对丰富,但由于资源过度开采、生境破坏等原因,野生卵形鲳鲹资源逐渐减少。因此需要进行资源恢复和人工增殖放流等手段来增加海洋野生种群数量。同时,要重视苗种交换频次、群体遗传多样性和遗传分化水平的变化,强化卵形鲳鲹的种质资源保护。尽管中国已经解决了规模化育苗的相关技术,但在卵形鲳鲹遗传特性和抗病害能力、品质性状等方面的研究工作匮乏,限制了养殖产业的发展。因此,应该从卵形鲳鲹生长、耐寒、耐低氧、抗病等选育方向入手,开展良种选育相关的基础和应用研究工作。

5.2 加强对卵形鲳鲹基础性遗传机制的解析

目前,尽管卵形鲳鲹人工繁育技术在不断地优化,但卵形鲳鲹繁殖成熟度、雌雄性别判断困难的问题没有得到根本解决,亲鱼全同胞家系的建设还处于较为困难的阶段,未经人工选育随机挑选亲本而出现的近交衰退现象日益严重,最终影响了养殖性能和幼苗成活率,阻碍了后续的人工繁育效率及卵形鲳鲹的良种选育工作,不利于卵形鲳鲹养殖产业的稳定、可持续发展。为此,解析卵形鲳鲹基础的遗传机制,有针对性地开发快捷、高效的性别鉴定方法或性别标记,是目前苗种繁育和品质改良的关键。

5.3 开展性腺发育相关的内分泌、分子调控机制相关研究

卵形鲳鲹性腺发育时期以及组织学特征虽初步明确,但早期性腺的发生及性别分化规律尚不清楚。近两年来,卵形鲳鲹性腺发育相关的分子机制也被陆续报道,但涉及性腺发育相关的内分泌调控机制、基因调控网络等尚不明晰,环境因素对性腺发育的影响也有待于深入研究。

5.4 选育适于海洋牧场养殖的卵形鲳鲹新品系

随着中国现代化海洋牧场产业的不断发展,卵形鲳鲹作为适养品种之一,应努力开发深远海多营养级复合的健康生态养殖技术,降低营养损耗,减小对环境的负面影响,针对海洋牧场的养殖特点,以生长速度快、适应能力强、营养价值高等为突破点,选育适于养殖的卵形鲳鲹新品系,构建科学、生态、高效的牧场渔业发展新模式,这也是卵形鲳鲹未来养殖产业发展的新导向。

参考文献:

- [1] NELSON J S. Fishes of the World. Third edition [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994.
- [2] 区又君,李加儿.卵形鲳鲹的早期胚胎发育[J].中国水产科学, 2005, 12(6): 786-789.
OU Y J, LI J E. Early embryonic development in *Trachinotus ovatus* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(6): 786-789. (in Chinese)
- [3] 陈伟洲,许鼎盛,王德强,等.卵形鲳鲹人工繁殖及育苗技术研究[J].台湾海峡, 2007, 26(3): 435-442.
CHEN W Z, XU D S, WANG D Q, et al. Study on the spawning and hatching technique for *Trachinotus ovatus* [J]. Journal of Applied Oceanography, 2007, 26(3): 435-442. (in Chinese)
- [4] 王清印.海水健康养殖与水产品质量安全[M].北京:海洋出版社, 2006: 171-177.

- WANG Q Y. Healthy mariculture and quality and safety of aquatic products [M]. Beijing: Ocean Press, 2006: 171-177. (in Chinese)
- [5] 刘兴旺, 李治国. 卵形鲳鲹海水网箱养殖技术 [J]. 齐鲁渔业, 2007, 24(7): 8-9.
- LIU X W, LI Z G. Sea cage-culture technique for *Trachinotus ovatus* [J]. Shandong Fisheries, 2007, 24(7): 8-9. (in Chinese)
- [6] 张显良. 2023 年中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2023, 6: 22-26.
- ZHANG X L. China Fishery Statistical Yearbook in 2023 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023, 6: 22-26. (in Chinese)
- [7] 古群红, 宋盛宪, 梁国平. 金鲳鱼 (卵形鲳鲹) 工厂化育苗与规模化快速养殖技术 [M]. 北京: 海洋出版社, 2010.
- GU Q H, SONG S X, LIANG G P. Industrial seedling raising and large-scale rapid culture technology of golden pomfret (*Pomfret ovata*) [M]. Beijing: Ocean Press, 2010. (in Chinese)
- [8] 王贵宁, 李兵, 罗蕾, 等. 温度及盐度对卵形鲳鲹仔鱼存活和发育的影响 [J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(6): 831-837.
- WANG G N, LI B, LUO L, et al. The effects of temperature and salinity on survival and development of larvae *Trachinotus ovatus* [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(6): 831-837. (in Chinese)
- [9] MA Z H, GUO H Y, ZHENG P L, et al. Effect of salinity on the rearing performance of juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus* (Linnaeus 1758) [J]. Aquaculture Research, 2016, 47(6): 1761-1769.
- [10] 宋恒锋, 方农业, 张艳秋. 广西沿海池塘低盐度养殖卵形鲳鲹试验 [J]. 新农业, 2014(11): 56-58.
- SONG H F, FANG N Y, ZHANG Y Q. Experiments on low salinity culture of *Trachinotus ovatus* in Guangxi coastal ponds [J]. Modern Agriculture, 2014, 11: 56-58. (in Chinese)
- [11] 石琼, 范明君, 张勇. 中国经济鱼类志 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2015.
- SHI Q, FAN M J, ZHANG Y. Economically important fish in China [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2015. (in Chinese)
- [12] 张坤, 周结倩, 范秀萍, 等. 禁食暂养对卵形鲳鲹有水保活生理响应的影响 [J]. 广东海洋大学学报, 2022, 42(1): 44-49.
- ZHANG K, ZHOU J Q, FAN X P, et al. Effects of fasting acclimation on the physiological response to water preservation of *Trachinotus ovatus* [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2022, 42(1): 44-49. (in Chinese)
- [13] 倪勇, 伍汉霖. 江苏鱼类志 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- NI Y, WU H L. Fishes of Jiangsu Province [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006. (in Chinese)
- [14] 区又君, 吉磊, 李加儿, 等. 卵形鲳鲹不同月龄选育群体主要形态性状与体质量的相关性分析 [J]. 水产学报, 2013, 37(7): 961-969.
- OU Y J, LI L, LI J E, et al. Correlation analysis of major morphometric traits and body weight of selective group at different month ages of *Trachinotus ovatus* [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(7): 961-969. (in Chinese)
- [15] 程大川, 郭华阳, 马振华, 等. 3 月龄卵形鲳鲹形态性状对体质量的影响分析 [J]. 海洋渔业, 2016, (1): 26-34.
- CHENG D C, GUO H Y, MA Z H, et al. Mathematical analysis of morphometric attribute effects on body weight for three-month-old *Trachinotus ovatus* [J]. Marine Fisheries, 2016, (1): 26-34. (in Chinese)
- [16] 黄小林, 张殿昌, 林黑着, 等. 池塘养殖卵形鲳鲹早期形态性状与体质量的灰色关联分析 [J]. 南方农业学报, 2018, 49(5): 1016-1022.
- HUANG X L, ZHANG D C, LIN H Z, et al. Grey relational analysis between early morphological traits and body weight of *Trachinotus ovatus* bred in pond [J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(5): 1016-1022. (in Chinese)
- [17] 区又君, 李加儿, 勾效伟. 卵形鲳鲹消化道的形态学、组织学和组织化学 [J]. 大连海洋大学学报, 2012, 27(1): 38-43.
- OU Y J, LI J E, GOU X W. Morphological, histological, and histochemical observation of digestive tract in ovate pompano *Trachinotus ovatus* [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2012, 27(1): 38-43. (in Chinese)
- [18] FUKUHARA. Study on the development of functional morphology and behaviour of the larvae of eight commercially valuable teleost fishes [J]. Contrib Fish Res Jpn Sea Block, 1992, 25: 1-122.
- [19] WILSON M V. The caudal skeleton of basal teleosts, its conventions, and some of its major evolutionary novelties in a temporal dimension [J]. Mesozoic Fishes, 2013, 25: 187-246.
- [20] COSTA W. The caudal skeleton of extant and fossil cyprinodontiform fishes (Teleostei: Atherinomorpha): comparative morphology and delimitation of phylogenetic characters [J]. Vertebrate Zoology, 2012, 62(2): 161-180.
- [21] MA Z H, ZHENG P L, GUO H Y, et al. Jaw malformation of hatchery reared golden pompano *Trachinotus ovatus* (Linnaeus 1758) larvae [J]. Aquaculture Research, 2016, 47: 1141-1149.
- [22] ZHENG P L, MA Z H, GUO H Y, et al. Osteological ontogeny and malformations in larval and juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus* (Linnaeus 1758) [J]. Aquaculture Research, 2016, 47(5): 1421-1431.
- [23] YANG Q B, ZHENG P L, MA Z H, et al. Molecular cloning and expression analysis of the retinoid X receptor (*RXR*) gene in golden pompano *Trachinotus ovatus* fed *Artemia nauplii* with different enrichments [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2015, 41(6): 1449-1461.
- [24] ZHENG P L, MA Z H, GUO H Y, et al. Ontogenetic development of caudal skeletons in *Trachinotus ovatus* larvae [J]. South China Fisheries Science, 2014, 10(5): 45-50.
- [25] WU Y W, HUANG D H, MA Q, et al. Morphological characterization and transcriptome analysis of opercular deformity in golden pompano (*Trachinotus ovatus*) [J]. Aquaculture, 2024, 590: 741020.
- [26] 区又君. 卵形鲳鲹的人工繁育技术 [J]. 海洋与渔业, 2008(9): 24-25.
- OU Y J. Artificial breeding techniques of golden pompano *Trachinotus ovatus* [J]. Marine Fisheries, 2008(9): 24-25. (in Chinese)
- [27] 区又君, 李加儿. 卵形鲳鲹生物学和养殖技术 [M]. 北京: 海洋出版社, 2017.
- OU Y J, LI J E. Biology and culture of ovate pompano [M]. Beijing: Ocean Press, 2017. (in Chinese)
- [28] 区又君. 卵形鲳鲹 花鲈 军曹鱼 黄鳍鲷 美国红鱼 高效生态养

- 殖新技术[M].北京:海洋出版社,2015.
- OU Y J.A new technology for efficient ecological culture of pomfret, perch, cobia, yellow fin snapper and American red fish[M]. Beijing: Ocean Press, 2015. (in Chinese)
- [29] 蒋小珍, 韦媛媛, 陈晓汉, 等. 卵形鲳鲹性腺组织学观察及简易性别判定方法建立[J]. 西南农业学报, 2015, (1): 428-432.
- JIANG X Z, WEI P Y, CHEN X H, et al. Histological observation of *Trachinotus ovatus* and methodical construction of simple method of early sex identification[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2015, (1): 428-432. (in Chinese)
- [30] 方永强, 戴燕玉, 洪桂黄. 卵形鲳鲹早期卵子发生显微及超微结构的研究[J]. 台湾海峡, 1996, 15(4): 407-411.
- HUANG Y Q, DAI Y Y, HONG G H. A study on micro-and ultra-structure of early oogenesis in *Trachinotus ovatus* [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1996, 15(4): 407-411. (in Chinese)
- [31] 许晓娟, 李加儿, 区又君. 盐度对卵形鲳鲹胚胎发育和早期仔鱼的影响[J]. 南方水产, 2009, 5(6): 31-35.
- XU X J, LI J E, QU Y J. Effects of salinity on embryonic development and early larvae in ovate pompano *Trachinotus ovatus* [J]. South China Fisheries science, 2009, 5(6): 31-35. (in Chinese)
- [32] 许晓娟. 几种因子对卵形鲳鲹早期生长发育影响及血液学指标研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2009.
- XU X J. Effect of several factors on growth and development in early stages and investigations on haematological indexes in ovate pompano *Trachinotus ovatus* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2009. (in Chinese)
- [33] 王贵宁, 李兵, 罗蕾, 等. 温度及盐度对卵形鲳鲹仔鱼存活和发育的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(6): 831-837.
- WANG G N, LI B, LUO L, et al. The effects of temperature and salinity on survival and development of larvae *Trachinotus ovatus* [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(6): 831-837. (in Chinese)
- [34] REN X L, HUANG Y L, LI X M, et al. Identification and functional characterization of gonadotropin-releasing hormone in pompano (*Trachinotus ovatus*) [J]. General and Comparative Endocrinology, 2022, 316: 113958.
- [35] REN X L, LIU J L, NDANDALA C B, et al. Physiological effects and transcriptomic analysis of sbGnRH on the liver in Pompano (*Trachinotus ovatus*) [J]. Frontiers in endocrinology, 2022, 13: 869021.
- [36] LI X M, BRIGHTON NDANDALA C, ZHOU Q, et al. Molecular cloning of estrogen receptor and its function on vitellogenesis in pompano (*Trachinotus ovatus*) [J]. General and Comparative Endocrinology, 2024, 346: 114403.
- [37] 黄进光, 林香华, 张明哲. 金鲳鱼规模化全人工育苗技术探讨[J]. 渔业科技产业, 2007, 2: 16-21.
- HUANG J G, LIN X H, ZHANG M Z. Discussion on the scale-up fully artificial nursery technology of *Trachinotus ovatus* [J]. Fisheries Science and Technology Industry, 2007, 2: 16-21. (in Chinese)
- [38] 彭汝运. 卵形鲳鲹鱼苗人工繁育技术[J]. 海洋与渔业, 2009(9): 38-39.
- PENG R Y. Artificial breeding technology of egg-shaped pomfret fry [J]. Ocean and Fishery, 2009(9): 38-39. (in Chinese)
- [39] 廖志强. 金鲳鱼人工育苗技术[J]. 养殖与饲料, 2012(12): 17-18.
- LIAO Z Q. Artificial breeding in *Trachinotus ovatus* [J]. Animals breeding and feed, 2012, 12: 17-18. (in Chinese)
- [40] 彭俊耀, 梁怡姬, 欧小华. 卵形鲳鲹人工繁殖及育苗技术[J]. 海洋与渔业, 2017(4): 54-55.
- PENG J Y, LIANG Y J, OU X H. Artificial propagation and seedling raising techniques of pomfret ovata [J]. Ocean and Fishery, 2017(4): 54-55. (in Chinese)
- [41] 刘楚斌, 陈锤. 卵形鲳鲹的生物学与池塘混养技术[J]. 海洋与渔业, 2008(11): 47.
- LIU C B, CHEN C. Biology and pond polyculture technology of pomfret ovata [J]. Ocean and Fishery, 2008(11): 47. (in Chinese)
- [42] 于方兆, 陈创华, 吴缥飘. 金鲳鱼池塘高效养殖技术[J]. 海洋与渔业, 2008(5): 46, 45.
- YU F Z, CHEN C H, WU P P. Efficient culture technology of pomfret in pond [J]. Ocean and Fishery, 2008(5): 46, 45. (in Chinese)
- [43] 林壮炳, 赖向生. 河口区池塘卵形鲳鲹生态混养技术研究[J]. 科学养鱼, 2013(7): 42-44.
- LIN Z B, LAI X S. Study on ecological polyculture technology of pomfret ovata in ponds in estuary area [J]. Scientific Fish Farming, 2013(7): 42-44. (in Chinese)
- [44] 区又君, 吉磊, 李加儿, 等. 卵形鲳鲹滩涂半封闭型多级综合生态养殖试验研究[C]. 2016年全国海水养殖学术研讨会论文集, 2016: 283-290.
- OU Y J, JI L, LI J E, et al. Experimental study on semi-enclosed multi-stage integrated ecological aquaculture of oviparous pomfret on mudflat [C]. National Mariculture Symposium 2016 Proceedings, 2016: 283-290. (in Chinese)
- [45] 虞为, 李欣, 林黑着, 等. 不同密度的卵形鲳鲹与凡纳滨对虾混养效果研究[J]. 水产学杂志, 2021, 34(2): 86-93.
- YU W, LI X, LIN H Z, et al. Effects of different densities of golden pompano *Trachinotus ovatus* on economic and ecological benefits in polyculture of Pacific white leg shrimp *Litopenaeus vannamei* with golden pompano [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2021, 34(2): 86-93. (in Chinese)
- [46] 陈傅晓, 朱海. 卵形鲳鲹网箱养殖技术[J]. 科学养鱼, 2007(12): 22-23.
- CHEN F X, ZHU H. Cage-culture technique for *Trachinotus ovatus* [J]. Scientific Fish Farming, 2007(12): 22-23. (in Chinese)
- [47] 刘兴旺, 李治国. 卵形鲳鲹海水网箱养殖技术[J]. 渔业科技产业, 2007(2): 8-9.
- LIU X W, LI Z G. Seawater net-pen culture technology of *Trachinotus ovatus* [J]. Fishery Information and Strategy, 2007(2): 8-9. (in Chinese)
- [48] 陶启友, 郭根喜. 卵形鲳鲹深水网箱养殖试验[J]. 科学养鱼, 2006(2): 39.
- TAO Q Y, GUO G X. Experiment on deep-water cage culture of pomfret ovata [J]. Scientific Fish Farming, 2006(2): 39. (in Chinese)
- [49] 古恒光, 周银环. 卵形鲳鲹深水网箱养殖密度试验[J]. 渔业现

- 代化,2009,36(4):33-36,41.
- GU H G,ZHOU Y H.Stocking density experiment of *Trachinotus ovatus* in off-shore cage[J].Fishery Modernization,2009,36(4):33-36,41.(in Chinese)
- [50] 李样红,彭树锋,周全耀,等.卵形鲳鲹深水网箱养殖技术研究[J].科学养鱼,2014(5):44-45.
- LI Y H,PENG S F,ZHOU Q Y,et al.Study on deep-water cage culture technology of pomfret ovata[J].Scientific Fish Farming,2014(5):44-45.(in Chinese)
- [51] 范斌,古恒光,杨永健.卵形鲳鲹深水网箱深远海绿色健康养殖技术研究与应用[J].中国科技成果,2020,21(19):49-51.
- FAN B,GU H G,YANG Y J. Research and application of green and healthy aquaculture technology for deep-water net pens and deep-sea in trachinotus ovatus[J]. China Science and Technology Achievements,2020,21(19):49-51.(in Chinese)
- [52] 卢飞龙.深水抗风浪网箱卵形鲳鲹生态养殖试验[J].农业与技术,2012,32(7):108-109.
- LU F L.Experiment on ecological culture of egg-shaped pomfret in deep-water storm-resistant cage[J].Agriculture and Technology,2012,32(7):108-109.(in Chinese)
- [53] 贾立国,刘西磊,韦成昱,等.卵形鲳鲹深水抗风浪网箱养殖技术应用推广[Z].广西海世通食品股份有限公司,2017.
- JIA L G,LIU X L,WEI C Y,et al.Application and popularization of deep-water wind and wave resistant net box culture technology for *Trachinotus ovatus* [J]. HISEATON FISHERIES (B) SDN BHD,2017.(in Chinese)
- [54] LI R J,OU Y J,LI J E,et al.Effects of salinity and temperature on the activity of antioxidant enzymes in livers of selective group of *Trachinotus ovatus*[J].Chinese Journal of Zoology,2013,48:428-436.
- [55] 区又君,罗奇,李加儿,等.卵形鲳鲹消化酶活性的研究Ⅳ养殖水温和酶反应温度对幼鱼酶活性的影响[J].海洋渔业,2011,33(1):28-32.
- OU Y J,LUO Q,LI J E,et al.On digestive enzyme activity in *Trachinotus ovatus* Ⅳ Effects of cultural and reactive temperatures on major enzyme activity in juveniles[J].Marine Fisheries,2011,33(1):28-32.(in Chinese)
- [56] 王刚.卵形鲳鲹呼吸代谢的研究[D].上海:上海海洋大学,2011.
- WANG G.Study on respiratory metabolism of pomfret ovata[D].Shanghai:Shanghai Ocean University,2011.(in Chinese)
- [57] 李金兰,陈刚,张健东,等.温度、盐度对卵形鲳鲹呼吸代谢的影响[J].广东海洋大学学报,2014(1):30-36.
- LI J L,CHEN G,ZHANG J D,et al.Effects of temperature and salinity on the respiratory metabolism of *Derbio (Trachinotus ovatus L.)* [J].Journal of Guangdong Ocean University,2014(1):30-36.(in Chinese)
- [58] 罗奇.生态因子对卵形鲳鲹消化酶、磷酸酶活性的影响[D].上海:上海海洋大学,2010.
- LUO Q.Effects of ecological factors on activities of digestive enzymes and phosphatase in *Trachinotus ovatus* [D]. Shanghai:Shanghai Ocean University,2010.(in Chinese)
- [59] 范春燕.盐度和低氧胁迫对卵形鲳鲹生理因子的影响[D].上海:上海海洋大学,2011.
- FAN C Y.Effects of salinity and hypoxia stress on physiological factors of pomfret ovata[D].Shanghai:Shanghai Ocean University,2011.(in Chinese)
- [60] 黄建盛,陈刚,杨健,等.盐度对卵形鲳鲹幼鱼生长及能量收支的影响[J].广东海洋大学学报,2007,4:30-34.
- HUANG J S,CHEN G,YANG J,et al.Effect of salinity on energy budget of trachinotus ovatus Juveniles[J].Journal of Guangdong Ocean University,2007,4:30-34.(in Chinese)
- [61] 江华,陈刚,张健东,等.限食水平与饥饿时间对卵形鲳鲹幼鱼补偿生长的影响[J].广东海洋大学学报,2014,34(3):35-40.
- JIANG H,CHEN G,ZHANG J D,et al.Effects of food restriction and starvation on compensatory growth in juvenile *Trachinotus ovatus*[J].Journal of Guangdong Ocean University,2014,34(3):35-40.(in Chinese)
- [62] 赵超平.卵形鲳鲹盐度适应调控机制研究[D].上海:上海海洋大学,2018.
- ZHAO C P.Study on salinity adaptive regulation mechanism of pomfret ovata[D].Shanghai:Shanghai Ocean University,2018.(in Chinese)
- [63] 陈世喜.卵形鲳鲹肝脏和鳃器官在急、慢性低氧胁迫下的生理组织及相关基因表达变化的研究[D].上海:上海海洋大学,2016.
- CHEN S X.Study on the changes of physiological tissue and related gene expression in liver and gill organs of *Siniperca ovata* under acute and chronic hypoxia stress[D].Shanghai:Shanghai Ocean University,2016.(in Chinese)
- [64] SAN L Z,LIU B S,LIU B,et al.Genome-wide association study reveals multiple novel SNPs and putative candidate genes associated with low oxygen tolerance in golden pompano *Trachinotus ovatus* (Linnaeus 1758)[J].Aquaculture,2021,544:737098.
- [65] SAN L Z,LIU B S,LIU B,et al.Transcriptome analysis of gills provides insights into translation changes under hypoxic stress and reoxygenation in golden pompano, *Trachinotus ovatus* (Linnaeus 1758)[J].Frontiers in Marine Science,2021,8:2296-7745.
- [66] 王小丽.五种南海海水鱼的染色体核型分析和显带[D].暨南大学,2007.
- WANG X L.Analysis of the Karyotype and banding of five kinds of maritime fish in the South China Sea[D].Jinan University,2007.(in Chinese)
- [67] 舒琬,何敏莲,张海发,等.卵形鲳鲹染色体组型研究[J].广州大学学报(自然科学版),2007,6(2):23-25.
- SHU H,HE M L,ZHANG H F,et al.Study on the karyotype in the *Trachinotus ovatus*[J].Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition),2007,6(2):23-25.(in Chinese)
- [68] ZHANG D C,GUO L,GUO H Y,et al.Chromosome-level genome assembly of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) in the family Carangidae[J].Scientific Data,2019,6:216.
- [69] GUO L,YANG J W,LIU B S,et al.Turnover of sex defining mutation provides an insight into evolution of sex chromosomes in the golden pompano (*Trachinotus ovatus*)[J].Genome biology and evolution,2021,16(3):evae037.
- [70] WEBER J L.Informativeness of human (dC-dA) n · (dG-dT) n polymorphisms[J].Genomics,1990,7(4):524-530.
- [71] 彭金霞,彭敏.卵形鲳鲹线粒体 16SrRNA 基因全长序列的克

- 隆与分析[J].水生生态学杂志,2010,3(4):81-85.
- PENG J X,PENG M.Cloning and sequence analysis of trachinotus ovatus mitochondrial 16S rRNA Gene[J].Journal of Hydroecology,2010,3(4):81-85.(in Chinese)
- [72] 韦媛媛,彭金霞,房振峰,等.卵形鲳鲹线粒体 COI 基因全长序列的克隆与分析[J].西南农业学报,2011,24(4):1552-1557.
- WEI P Y,PENG J X,FANG Z D,et al.Cloning and sequence analysis of *Trachinotus ovatus* mitochondrial COI gene[J].Southwest China Journal of Agricultural Sciences,2011,24(4):1552-1557.(in Chinese)
- [73] 陈秀荔,肖群平,陈晓汉,等.卵形鲳鲹微卫星分子标记的筛选[J].武汉大学学报(理学版),2010,56(5):564-569.
- CHEN X L,XIAO Q P,CHEN X H,et al.Screening of microsatellite molecular marker in *Trachinotus ovatus*[J].Journal of Wuhan University (Natural Science Edition),2010,56(5):564-569.(in Chinese)
- [74] SUN L Y,ZHANG D C,JIANG S G,et al.Isolation and characterization of 21 polymorphic microsatellites in golden pompano *Trachinotus ovatus*[J].Conservation Genetics Resources,2013,5(4):1107-1109.
- [75] SUN L Y,ZHANG D C,GUO H Y,et al.Complete mitochondrial genome sequence of golden pompano *Trachinotus ovatus*[J].Mitochondrial DNA Part A,DNA Mapping,Sequencing,and Analysis,2016,27(2):871-872.
- [76] 吉磊,区又君,李加儿.卵形鲳鲹 3 个养殖群体的微卫星多态性分析[J].热带海洋学报,2011,30(3):62-68.
- JI L,OU Y J,LI J E.Genetic polymorphism of three cultured populations of golden pompano *Trachinotus ovatus* as revealed by microsatellites[J].Journal of Tropical Oceanography,2011,30(3):62-68.(in Chinese)
- [77] 彭敏,陈晓汉,陈秀荔,等.卵形鲳鲹养殖群体与野生群体遗传多样性的 AFLP 分析[J].西南农业学报,2011,24(5):1987-1991.
- PENG M,CHEN X H,CHEN X L,et al.Genetic diversity of wild and cultured *Trachinotus ovatus* populations by AFLP markers[J].Southwest China Journal of Agricultural Sciences,2011,24(5):1987-1991.(in Chinese)
- [78] ZHANG G Q,ZHANG X H,YE H Z,et al.Construction of high-density genetic linkage maps and QTL mapping in the golden pompano[J].Aquaculture,2018,482:90-95.
- [79] LUO H L,ZHANG Y D,LIU F Y,et al.The male and female genomes of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) provide insights into the sex chromosome evolution and rapid growth[J].Journal of Advanced Research,2024,65:1-17.
- [80] ZHU F Q,SUN H B,JIANG L M,et al.Genome-wide association study for growth-related traits in golden pompano (*Trachinotus ovatus*)[J].Aquaculture,2023,572:739549.
- [81] SAN L Z,LIU B S,LIU B,et al.Genome-wide association study reveals multiple novel SNPs and putative candidate genes associated with low oxygen tolerance in golden pompano *Trachinotus ovatus* (Linnaeus 1758)[J].Aquaculture,2021,544:737098.

Research progress in the aquaculture biology of the Golden Pompano (*Trachinotus ovatus*)

CHEN Huapu^{1,2}

(1. Guangdong Province Famous Fish Reproduction Regulation and Breeding Engineering Technology Research Center of Engineering Technology Research Center, Guangdong Province Key Laboratory of Pathogenic Biology and Epidemiology of Aquatic Economic Animals, Guangdong Province Marine Aquaculture Biological Breeding Engineering Laboratory, Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China; 2. Agro-Tech Extension Center of Guangdong Province, Guangzhou 510520, China)

Abstract: The golden pompano (*Trachinotus ovatus*) is a popular fish variety for marine cage culture and large-scale offshore aquaculture facilities. Successive breakthroughs in key technologies for breeding and cultivating golden pompano have promoted the rapid development of its industrial aquaculture in China. However, issues such as the decline in farming performance, caused by relatively weak fundamental biological and genetic breeding research, have become bottlenecks for sustainable development of this industry. We describe the current state of research and development in the industry and review the biological characteristics of *T. ovatus*, including resource distribution, habitat, morphological traits, and reproductive biology. We also summarize recent research achievements in artificial breeding, aquaculture, physiological ecology, and genetics. In light of the development, conservation, and the future potential of golden pompano resource, we propose future research directions, including selective breeding, basic genetic mechanisms, gonadal development regulation, and new strain development, to provide references for the future stable development of golden pompano aquaculture sector.

Key words: *Trachinotus ovatus*; biology; breeding; aquaculture