



· 综述 ·

## 大银鱼生物学与渔业生态学研究进展

唐富江<sup>1\*</sup>, 高文燕<sup>1</sup>, 李慧琴<sup>2</sup>, 刘伟<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070;

2. 中国水产科学研究院, 农业农村部渔业遥感科学观测实验站, 北京 100141)

**摘要:** 大银鱼是东亚特有的小型经济鱼类, 相关研究工作主要由我国科技工作者开展。本文对大银鱼分类、生长、繁殖、孵化与胚胎发育、移植与产量波动以及对其他鱼类的影响等研究进展进行了归纳和总结。更正后的大银鱼拉丁学名存在尚未被广泛使用的问题。多年的移植增殖使大银鱼产生了大量新的遗传变异, 形态上也有所改变, 丰富了大银鱼的种质资源。不同纬度地区大银鱼快速生长的月份不同, 虽然北方生长季节短, 但大银鱼个体却不小于南方。大银鱼能否稳定地转变为食鱼性决定了其生长速率和最终个体大小, 其种群内出现个体大小分化的饵料资源条件尚不清楚。种群内是否出现个体大小分化决定了大银鱼的性选择模式, 而相关的研究尚未开展。大银鱼为一次性产卵鱼类, 其自然受精率高于人工受精率, 因此, 在增殖中若能保留合适的繁殖群体量则无需人工投放受精卵。大银鱼的胚胎发育及其影响因素已经比较清楚, 足以指导受精卵的生产。大银鱼是耐盐碱鱼类, 可用于发展盐碱水域渔业。饵料生物资源的过度消耗被认为是大银鱼产量跌入低谷的原因, 但相关的定量生态学研究有待开展, 以指导大银鱼的可持续稳产。本研究还针对大银鱼种群爆发对土著鱼类影响的问题, 提出了应对策略。

**关键词:** 大银鱼; 生物学; 渔业生态学; 渔业管理

**中图分类号:** Q 958.8; S 917.4

**文献标志码:** A

大银鱼 (*Protosalanx chinensis*) 自然分布于我国黄海、渤海、东海沿岸河口及与之相通的河流中下游和湖泊中, 在越南也有分布的报道<sup>[1-6]</sup>。大银鱼是一年生优质小型经济鱼类, 1985年苏州蚕桑专科学校向内蒙古岱海移植大银鱼首获成功, 随后因大银鱼投资小、效益极高的优点被移植到我国内陆的广大地区<sup>[7-9]</sup>。可查阅的资料表明我国成功移植大银鱼的省级行政区有21个, 其中只有浙江、江西、广西和云南为长江以南的省区, 而长江以北的所有省级行政区均有大银鱼移植成功的报道, 尤以北方平原地

区成功率高、效益好, 以至于一些地区被授予“大银鱼第一县”或“大银鱼之乡”的荣誉称号, 大银鱼已经成为我国大水面渔业的一个重要经济种。

在1980年以前, 关于大银鱼的研究相对较少, 主要集中在形态分类上<sup>[10-13]</sup>。1981—1995年, 我国学者对大银鱼开展了广泛深入的研究, 体现了以基础生物学研究为主<sup>[2, 14-18]</sup>, 逐渐向以增殖应用方向发展的特征<sup>[19]</sup>。1995—2000年, 学者们进行了与移植增殖相关的应用性研究和经验总结<sup>[7-9, 20-24]</sup>, 而基础分类和生物学研究相对较少<sup>[1, 25-27]</sup>。21世纪以来, 与增殖渔业相关的应用

收稿日期: 2020-03-25 修回日期: 2020-05-06

资助项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (HSY201806M); 国家自然科学基金 (31201993)

通信作者: 唐富江, E-mail: Tangfujiang@hrfri.ac.cn

生态学研究逐渐减少<sup>[28-32]</sup>, 而新方法和新技术在大银鱼研究中得到了广泛的应用, 开展了分子标记、分子分类、分子进化和基因组测序的研究<sup>[33-40]</sup>, 在不同地理种群的形态、营养和元素差异上也开展了创新性的研究<sup>[41-43]</sup>; 另外, 大银鱼移植的生态安全问题受到了重视, 入侵生态学作为一个新的研究方向出现, 在对其的深入研究产生了一些新的发现<sup>[44-49]</sup>。

目前, 相关的综述性文章多是以银鱼类作为对象介绍的, 较少提及大银鱼<sup>[4, 7-8, 24]</sup>, 仅一篇综述论述了大银鱼移植增殖工作进展及面临的问题<sup>[50]</sup>。尚无专门针对大银鱼生物学或生态学研究方面的综述性报道, 21 世纪以来又出现了一些新的研究进展, 本文对大银鱼种群生物学及移植生态学特征进行总结、分析和评述, 旨在为相关领域的科研、生产和渔政管理人员提供较为集中的解析和参考。

## 1 大银鱼生物学

### 1.1 分类与种群多样性

自 1765 年首次报道银鱼物种以来, 银鱼的分类已有 250 多年的研究历史。银鱼类骨骼为软骨或骨化不全, 仅眼睛和部分鳍条有色素, 终生保持幼态持续现象<sup>[10]</sup>, 这一特点与南半球的南乳鱼相同。1902 年 Jordan 和 Snyder 首次建立了银鱼科 (Salangidae), 之后经历了一个多世纪的研究和争论, Nelson 于 2006 年整合形态和分子证据, 将银鱼类归为胡瓜鱼目 (Osmeriformes) 下的银鱼科<sup>[51]</sup>。

银鱼科下的属种分类不尽一致, 但大银鱼作为属 (*Protosalanx*) 的观点基本是一致的<sup>[1-4]</sup>。1908 年, Regan 首次设立大银鱼属, 并将大银鱼这个物种命名为 *P. hyalocranius* (Abbott, 1901); 1984 年 Robert 按照物种命名法规, 首次将学名更正为 *P. chinensis*<sup>[51]</sup>; 后来我国学者认为 *P. chinensis* 为内陆淡水种群, *P. hyalocranius* 为海水种群, 但 Zhang 等<sup>[38]</sup> 进行线粒体基因进化分析后并未发现二者存在差别, 所以二者为同物异名。尽管我国分类学界认同采用 *P. chinensis*, 但大银鱼的相关文献仍多采用 *P. hyalocranius*, 可见存在信息传达不畅通的问题。形态和分子分析均表明大银鱼与其他银鱼的亲缘关系相对较

远<sup>[38, 51]</sup>。大银鱼是银鱼类群中个体最大和唯一的冬季繁殖种, 从繁殖季节上易与其他银鱼类区分, 从形态上与另一广泛移植种太湖新银鱼 (*Neosalanx taihuensis*, Chen, 1956) 的简易区别性状是大银鱼具颌齿和舌齿<sup>[1]</sup>。

学者们对大银鱼不同基因片段的多样性进行了研究, 为研究其遗传进化提供了手段。大银鱼 RAPD 标记和同工酶标记的多样性均低于太湖新银鱼和寡齿新银鱼 (*N. oligodontis*)<sup>[25, 39]</sup>。大银鱼和太湖新银鱼的 18S *rRNA* 基因没有差别<sup>[33]</sup>。大银鱼线粒体 *Cytb* 基因多样性较高, 进化速率约为 16S *rRNA* 基因进化速率的 4 倍, 适于进行不同种群遗传进化的研究<sup>[34, 40]</sup>。研究者们也尝试了开发多态性更高的微卫星分子标记, 赵亮等<sup>[35]</sup> 通过磁珠富集法筛选出大银鱼 6 个具有多态性的微卫星位点, 笔者通过二代测序技术对大银鱼微卫星进行了全基因组范围的开发, 但仍发现多态性较低。因此, 线粒体 *Cytb* 基因是目前研究大银鱼种群遗传进化的最佳基因片段, Tang 等<sup>[36]</sup> 对黑龙江流域大银鱼 *Cyt b* 基因多样性与太湖种群进行了比较, 发现大银鱼在多年的移植中产生了大量的新变异, 已经克服了遗传瓶颈, 移植增殖丰富了大银鱼的遗传资源, 这在土著大银鱼资源面临衰退的情况下具有重要补充意义; 连环湖阿木塔大银鱼的遗传多样性最高, 表明该湖从业者从增殖大银鱼工作中注重增加遗传多样性且卓有成效。采用形态学和框架测定相结合, 进行多元分析表明不同地区大银鱼形态上出现了一定的差异, 群体间的差异受躯干部的相关参数影响最大, 但这些差异尚未达到亚种水平<sup>[43]</sup>。目前, 大银鱼全基因组测序工作也已开展<sup>[37]</sup>, 为进行全基因组水平的遗传进化研究积累了资料。

### 1.2 生长特征

在不同的环境条件下, 大银鱼的生长表现出较大的可塑性。目前报道的最大个体纪录出现在山东省三里庄水库, 移植当年性成熟个体全长达 320 mm, 体质量达 50 g, 这与新移植水体适口饵料充足密切相关<sup>[28]</sup>。因水体中不同的饵料和大银鱼资源量, 不同世代大银鱼生长也会出现明显差别<sup>[31]</sup>。

大银鱼个体生长与耳石生长呈正相关, 孵出后第 2 天耳石上出现第一个日轮, 以后每天形

成一个日轮<sup>[27]</sup>。在北方昼夜温差大的水体中,大银鱼耳石日轮清晰,即使在不打磨的情况下也可读出130多个日轮,因此大银鱼耳石轮纹可用于计时和生长推测研究<sup>[48]</sup>。根据日轮间距推测大银鱼体长日生长,在卵黄囊营养阶段日增长速率较快;之后体长日增长逐渐加快,50~60日龄日增长达最大值;以后日增长量逐渐降低,在180~330日龄基本稳定,生长速率最慢<sup>[27]</sup>,这应是由性腺开始发育所致。

大银鱼种群结构具有一个重要特征,即随

着个体生长,种群内会出现个体大小分化,体长频数(size frequency)分布呈现双峰型(bimodal)分化。在兴凯湖,这种分化自7月始逐渐呈现和清晰,至11月可以体长120 mm为分界划分为大、小两个群组,至繁殖高峰期过后大群组基本消失,主要由小群组个体组成<sup>[48]</sup>。

大银鱼寿命为1年,一般以月龄对应的体长和体质量进行 von Bertalanffy 生长方程 $\left\{L_t = L_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]\right\}$ 和体长—体质量幂指数关系式 $(W = aL^b)$ 拟合,按年龄换算后各参数如表1所示。

表1 不同水体 von Bertalanffy 生长方程拟合大银鱼生长参数比较

Tab. 1 Growth parameters for von Bertalanffy growth equation of *P. chinensis* in several water bodies in China

水域 waters	最大个体/mm the largest fish	$L_\infty$ /mm	$k$	$t_0$	$b$	文献 reference
太湖(1983年种群) Taihu Lake (population in 1983)	197	219.86	1.76	0.026	2.94	[15]
道观河水库 Daoguanhe Reservoir	190	193.03	3.66	0.028	3.18	[22]
兴凯湖(2010年种群) Xingkai Lake (population in 2010)	195	203.00	2.93	0.210	2.89	[52]

以上3个水体的拟合方程中,兴凯湖采用的体长数据为各月样本中最大20尾个体的平均值,即倾向于选择种群结构分化后的大群组个体(同类相残中的捕食者),而大群组个体的食性转变后加速了生长,因此过高估计了食性转变前的生长速率,致使其理论生长起点年龄 $t_0$ 最高且大于零。其他2个水体的 $t_0$ 值也均大于零,原因也应是体长取值时倾向于选择了大群组个体。

大银鱼在我国北方地区的移植取得了广泛的成功,虽然太湖等南方水体无冰封期或很少结冰,且多数月份水温均高于北方水体,但北方水体的最大个体体长却不小于南方水体。对处于不同纬度和气候带的道观河水库<sup>[22]</sup>、水丰水库<sup>[31]</sup>和兴凯湖<sup>[52]</sup>的生长数据进行不同月份的生长指标和生长常数计算,表明生长指标和生长常数变化趋势较为一致,长江流域道观河水库大银鱼生长最快的时间为4月和9月,生长指标分别为0.709 1和0.881 4;而东北东部的兴凯湖(高寒地区)大银鱼生长最快的时间为8月和9月,生长指标分别为1.038 1和0.937 0,这表明寒地湖泊大银鱼在高温期生长速率最快,而南方湖泊大银鱼在高温期生长速率减慢,应是南方夏季高温不利于大银鱼生长所致。所处纬度与华北地区相似的水丰水库中的大银鱼也表现出与南方湖泊种群相似的生长趋势。相关研究表明,

大银鱼的极限致死高温为36℃,耐低温能力较强,0.5℃下存活率为80%<sup>[53]</sup>,因此,大银鱼的温度适应性是其能在北方寒冷地区移植成功的重要原因。

### 1.3 食性转变与同类相残

大银鱼在早期生活阶段以浮游动物为食,在刚孵出的一段时间内也摄食浮游植物<sup>[20]</sup>,过去普遍认为当大银鱼生长到一定体长时转为摄食鱼和虾类<sup>[14,19]</sup>。但实际上,大银鱼是否转为食鱼性由其捕食能力和饵料可得性决定,食性转变之前主要摄食枝角类和桡足类,食性转变之后摄食鱼和虾<sup>[49]</sup>。大银鱼种群内不同体长组间存在捕食能力和适口饵料可得性的差异,兴凯湖大银鱼产卵场水域小型鱼类资源相对较少,随着比较单一的饵料鱼类长大而变得不适口,大个体只能以同类小个体为主要食物,能够维持稳定的食鱼性,而小个体则终生只能以浮游动物为主要食物<sup>[49]</sup>,因生长速率的不同,产生了大、小两个正态分布的不同食性群组<sup>[48]</sup>;这种现象在鲈等当年生幼鱼(YOY)中普遍存在<sup>[54-56]</sup>,产生机理为食性转变加速了生长<sup>[57-58]</sup>。大银鱼大、小分化与饵料生物丰富度有关,在新移植水体中,饵料生物十分充足的条件下表现不出明显的分化特征,但在饵料生物不充足的条件下,则表

现出明显的分化特征<sup>[28]</sup>。因此, 在增殖大银鱼的水体中, 要保证足够的小型鱼类资源作为大银鱼饵料, 否则大银鱼种群内会出现生长级差和摄食同类的现象, 使种群结构呈现为双峰型分化<sup>[48]</sup>, 同类相食造成内耗, 大大降低鱼产量。种群内食性转变的差异是大银鱼种群结构出现双峰型分化的原因, 但是关于在何种饵料资源条件下产生双峰型分化的定量生态学研究尚未开展。

#### 1.4 性腺发育与繁殖

雄性大银鱼具有明显的副性征, 臀鳍上方腹部两侧各出现一列鳞片, 臀鳍前部鳍条增粗, 特别延长, 中部鳍条弯曲, 使臀鳍呈延长波曲状<sup>[59]</sup>。性腺不对称是银鱼类群的共同特征, 在鱼类中比较少见。大银鱼雌性个体的卵巢有大、小2个, 大的在体腔左侧, 小的在体腔右侧后方; 雄性精巢只有一个, 位于体腔的右后方<sup>[16, 19, 32]</sup>。

大银鱼为冬季繁殖的鱼类, 10月性腺方发育至第Ⅱ期, 11月发育至第Ⅲ期, 12月初发育至第Ⅳ期, 自12月中下旬开始繁殖, 繁殖高峰期在12月下旬或1月上旬, 北方繁殖时间略早于南方, 大批产卵均集中在几天之内<sup>[16, 19, 23, 32]</sup>。大银鱼同一性腺中存在卵细胞发育不同步的现象, 因此有人认为大银鱼是多次分批产卵<sup>[16]</sup>, 也有人认为是一次性产卵<sup>[23]</sup>, 还有人认为是一次产卵与多次产卵相结合<sup>[32]</sup>。唐富江<sup>[48]</sup>采用卵巢显微观察测量与组织切片观察相结合的方法, 在11月初、12月初和1月初大银鱼卵巢中均发现不同时相的卵母细胞, 但是1月初不成熟卵母细胞所占比重最小, 即越成熟的卵巢中不成熟卵母细胞数量越少。所以得出大银鱼性腺中卵子发育可不同步, 但行一次性产卵的结论。大银鱼繁殖后死亡、一生只繁殖一次的特征与鲑形目(Salmoniformes)的大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)一致<sup>[60]</sup>。大银鱼种群繁殖时间跨度长, 最晚繁殖个体可迟至翌年4—5月。相比南北气候差异, 大银鱼性成熟早晚与饵料丰富度更为相关, 表现出极大的可塑性, 如嫩江下游的不同湖泊, 虽然气候相同, 但由于大银鱼种群密度不同, 性成熟时间甚至会相差一个月。捕捞管理可使大银鱼繁殖时间发生明显变化, 连环湖阿木塔大银鱼在2016年性成熟率达50%的时间为12月14日, 2017年为12月8日, 2018年为12月4日, 2019年为12月9日。

大银鱼是典型的 $r$ -对策者, 1年生, 个体小, 相对繁殖力高<sup>[9]</sup>, 相对繁殖力高达2 354粒/g; 在个体大小出现分化的群体中, 大群组不仅绝对繁殖力显著大于小群组, 相对繁殖力也显著大于小群组, 说明大银鱼转变为食鱼性大大提高了雌性的繁殖能力<sup>[19, 48]</sup>。因雄性成熟需要的营养和能量远小于雌性, 所以当少数雌性个体成熟时, 多数雄性个体已经成熟, 因此在繁殖早期存在着激烈的雄性竞争。对于种群结构发生明显分化的种群, 繁殖高峰期过后的群体主要由小群组雄性个体组成, 这些雄性小个体可能是在性选择中处于劣势而未参与繁殖的个体, 会存活至雌性个体全部繁殖结束<sup>[48]</sup>。对于种群结构分化不明显的种群, 繁殖高峰期过后的群体主要由雌性个体组成, 这可能是雄性个体在前期繁殖竞争中死亡所致, 以上均需要行为学观察研究确证。

#### 1.5 胚胎发育

大银鱼卵较小, 直径0.82~1.11 mm。沉而微黏性, 卵表面具有卵膜丝, 受精以后卵膜吸水膨胀, 使卵膜丝自卵膜孔相对一极断裂、游离, 从而分散成依附于受精卵上的一环丛丝, 在漫长的胚胎发育期中附着于产卵场基质上, 既可保持受精卵良好的呼吸条件, 又可缓冲风浪的搅动, 对种群发展极为有利<sup>[17]</sup>。大银鱼的胚胎发育经历胚盘形成、卵裂期、囊胚期、原肠胚期、神经胚期、组织分化、器官形成、孵化腺出现和仔鱼出膜这9个生理阶段共30个发育期, 各发育期的长短与水温呈负相关<sup>[17, 61]</sup>。

大银鱼的胚胎发育适温为0.5~16.0℃, 温度上限为18℃, 最适孵化温度为2~8℃, 孵化温度变化范围不宜超过3℃, 在适温范围内, 孵化时间与孵化温度呈负相关<sup>[24, 62]</sup>。在适温范围内, 温度升高可提高孵化率, 而温度过高会降低孵化率; 水温增加至15℃时, 孵化率提高至68%, 当水温升至25℃时孵化率大为降低<sup>[29]</sup>。孵化水温波动不宜超过3℃, 在波动幅度达6.5℃的情况下, 孵化率降为7.9%。刚孵出仔鱼体长不大于5 mm, 水温7~10℃, 经10~14 d卵黄囊消失后方能平游, 具有较长的混合营养阶段<sup>[24]</sup>。受精卵孵化积温因孵化温度不同略有差异, 在水温4~5℃时, 孵化积温为4 424~5 530℃<sup>[62]</sup>, 在水温3~4.5℃时, 孵化积温为4 320~4 500℃<sup>[63]</sup>。

大银鱼孵化需要弱光或黑暗环境(此时孵化率可达70%),长光照孵化率仅为1%,且均为畸形<sup>[29]</sup>。环境中的污染因子如雌激素和重金属也会对大银鱼胚胎发育和仔鱼存活产生毒害作用<sup>[64-65]</sup>。

大银鱼是广盐性鱼类,对盐度有一定的耐受性,在盐度诱导下,大银鱼胚胎基因会进行适应性表达<sup>[66]</sup>。研究表明仔鱼在盐度4.3时可正常存活,其受精卵孵化盐度不应超过9,否则随着盐度升高,受精卵孵化率降低、畸形率增高、仔鱼存活率降低;在5~8℃时,当盐度达到17~25,18 h内受精卵和仔鱼全部死亡<sup>[20,62]</sup>。在自然水域,大银鱼分布的盐度范围为0.01~30,但在盐度大于20的海域则分布较少;大银鱼自然繁殖水域盐度小于12<sup>[59]</sup>。大银鱼也具有很强的耐碱性,内蒙古岱海pH值高达9.33,几乎接近生物适应范围的上限<sup>[67]</sup>,但大银鱼移植仍获得了很大的成功。因此,可以将大银鱼移植到盐碱湖泊中增殖,可促进盐碱地区渔业的发展。

## 2 大银鱼渔业生态学

### 2.1 移植大银鱼形成产量的影响因素

受精卵数量、孵化率、仔鱼开口饵料和天敌密度是决定移植鱼类种群发展的关键因素,也是大银鱼能否形成产量的关键因素。一般认为底质是影响大银鱼受精卵孵化率的重要因素,沙砾底质较淤泥底质更利于大银鱼孵化<sup>[7]</sup>,而相关研究表明,大银鱼卵附着于不被扰动的底泥上,孵化率仅有轻微降低,而被周期性搅动的底泥与卵混合才会明显降低孵化率<sup>[18]</sup>。多年的移植增殖表明,北方地区的大银鱼种群较南方地区发展得好,这应与冰下无风浪搅动底泥、有利于大银鱼的孵化有关。而同为冬季冰封但底质不同的湖泊中,大银鱼种群发展也明显不同,水生植物覆盖率高并富含淤泥的湖泊中,大银鱼种群发展受限,而沙滩或硬泥底质的敞水湖泊中种群发展更好<sup>[68]</sup>。因此,除了风浪搅动淤泥的直接影响,底质还可能通过间接作用影响大银鱼孵化,如冰下缺氧导致底泥发生还原反应产生有毒有害气体等,这有待于研究证实。

2019年12月,本实验室在水族箱中观察大银鱼的自行繁殖,发现大银鱼均进行了一次性产卵,并发现受精率几乎为100%,远高于人工

受精的50%左右<sup>[63]</sup>。虽然相对长的混合营养阶段有利于提高大银鱼仔鱼成活率,但平游前仔鱼基本不具有扩散能力,所以在人工投放受精卵时一定要分散,避免因仔鱼密度过大致使在转口阶段饥饿死亡,使人工投放效果甚微。但有关开口饵料密度与合适的鱼卵投放密度的定量研究尚未开展,因此,若能科学地保留合适的繁殖群体数量,则效益优于人工繁殖投放受精卵。

经验表明,北方浅水湖泊水量的增加对大银鱼种群发展十分有利,这可能与冰下水深增加,提高了底层水温有利于孵化有关,同时水量增加既扩大了生存空间又增加了开口饵料资源量,有利于大银鱼早期资源的存活(连环湖诸水体验)。而北方冬季冰封水体中的溶解氧也是鱼类存活的限制因素,在高原地区,如青海省多地移植不成功,可能与冬季冰封时溶解氧含量偏低有关。

天敌数量是影响大银鱼种群发展的又一关键因素。北方水域鱼类种类普遍少于南方,是大银鱼种群发展的有利因素;且冰下多数鱼类停食或很少摄食,其他鱼类对大银鱼受精卵和孵出仔鱼的摄食也较少,有利于大银鱼孵化和早期存活。在移植水体中大银鱼种群也受其他外来鱼类影响<sup>[21]</sup>,如西太公鱼(*Hypomesus nipponensis*)增殖对大银鱼种群发展有制约作用<sup>[8,62]</sup>。近20年的观察发现,大银鱼可与西太公鱼共存,但二者呈现出此消彼长、相互制约的关系。根据这2种鱼的繁殖时间差异,推测其原因是西太公鱼繁殖群体对大银鱼早期资源的捕食和当年生大银鱼对西太公鱼仔、稚、幼鱼的捕食,二者的共存机理有待进一步研究。目前,在连环湖中发现河鲈(*Perca fluviatilis*)与大银鱼种群有相互制约作用,二者的相互关系有待进一步研究。

### 2.2 人工增殖大银鱼产量剧烈波动的原因

大银鱼是典型的r-对策者,1年生,无亲代育幼行为;种群补充极易受环境影响,种群波动幅度大<sup>[4,9,21]</sup>。大银鱼移植种群波动剧烈的问题一直是行业内面临的难题,内蒙古岱海首次实现大银鱼成功移植便出现了种群剧烈波动的情况,移植第9年形成捕捞产量,第10年却不见踪迹<sup>[50]</sup>。2016年大庆市小龙虎泡大银鱼种群爆

发后, 当年性成熟个体小; 雌性成熟时间推迟, 而雄性性成熟时间不推迟, 在雌性大批性成熟时, 雄性残存个体却所剩无几, 导致雌性无法繁殖, 因此资源补充出现了瓶颈; 2017 年早期资源的数量和生长速率均很小。受精卵数量、孵化率、仔鱼开口饵料是决定大银鱼资源补充的关键因素, 相关专家经过认真分析后, 认为是过度利用饵料生物资源导致饵料匮乏所致, 并提出采取及时捕捞降低种群密度的措施<sup>[21, 28]</sup>。但是相关的定量生态学研究并未开展。

### 2.3 大银鱼对土著鱼类的入侵机理及控制策略

大银鱼种群发展对其他鱼类会产生影响。作为小型肉食性鱼类, 大银鱼生活史中存在着由摄食浮游动物转为捕食鱼虾的过程<sup>[49]</sup>, 因此大银鱼对其他鱼类的影响可以通过竞争浮游动物资源和直接捕食两种方式。大银鱼的直接捕食可使鲶 (*Hemiculter leucisculus*) 和香鱼 (*Plecoglossus altivelis*) 等小型鱼类数量锐减或消失<sup>[44, 46]</sup>; 经验表明, 大银鱼种群爆发性过度增殖会导致多种小型鱼类资源匮乏。

但大银鱼为 1 年生鱼类, 具有种群波动剧烈的特征, 若只捕捞而不投放则很容易控制种群发展。目前兴凯湖外来大银鱼已经在商业捕捞下处于种群衰退状态, 种群爆发后十年来并未发现某种土著鱼类资源量明显减少, 大银鱼种群被控制在了生态安全的状态。而在江河中, 由于水文流态等物理环境特征波动大, 大银鱼种群发展则很受限。自 2010 年在松花江中首次发现大银鱼以来<sup>[46]</sup>, 2016 年松花江中种群数量较大, 2017 年则数量非常少, 2018 和 2019 年略有增加。

### 2.4 新形势下的管理方式

目前, 绝大多数大银鱼增殖水体仍面临产量波动剧烈的问题, 但在科学有效的管理下也可以实现可持续稳产。2014—2018 年连环湖阿木塔泡和牙门喜泡产量基本维持了 300 t 的稳定产量, 是值得推广的成功案例; 而 2019 年冬由于不可抗力导致了补充群体密度过大, 即使 2019 年加大了捕捞力度来降低密度, 产量也较历年减少了约 1/3; 而 2020 年的资源量情况有待监测。因此, 确定合适的资源补充量并及时疏密更为重要。通过科学的管理, 防止过度消耗饵料资

源以维持稳定的大银鱼产量, 不仅对渔业可持续发展具有重要意义, 对水域生态环境健康也具有重要意义。

尽管大银鱼种群易于控制, 生态风险较小, 但在进行渔业生产时, 从业者往往会追求高产量而不考虑保护土著鱼类等生物资源。因此, 为了兼顾大银鱼产业发展和保护土著鱼类等生物资源, 应禁止在保护鱼类的自然保护区 (如水产种质资源保护区) 中移植大银鱼, 而允许在其他水体中移植增殖大银鱼, 出台相关的政策时应避免忽左忽右的“一刀切”。

## 3 大银鱼生态学研究展望

大银鱼种群在移植水体中的剧烈波动一直是产业发展面临的难题, 经营者盲目追求高产量而过度地消耗了饵料生物资源, 导致大银鱼产量由高峰跌入低谷。经营者对大银鱼种群波动需要有预见性, 并提前采取有效措施, 科学地防患于未然。科研工作者需要找出预测大银鱼种群波动的相关因子及大银鱼资源量的准确评估方法, 以建立大银鱼种群动态预测模型, 为渔业管理者提供可靠依据。

人工投放受精卵是当前大银鱼渔业必备的生产程序, 但人工授精卵的制作过程使受精率仅为 50% 左右, 远低于自然繁殖受精率。而人工投放的受精卵与存留的繁殖群体进行自然繁殖, 对种群补充的贡献大小并不清楚, 尚未开展评估。因此, 亟需建立科学的评估方法, 以指导受精卵的人工投放和繁殖群体的存留, 获得最佳的经济效益。

大银鱼种群内出现个体大小分化的原因在于个体间食物竞争和摄食同类现象的出现, 而在资源量不同的水体或同一水体的不同年份, 个体大小分化的程度有所不同, 推测其原因是饵料的丰富度不同所致。但需要足够的数据库相关分析来证明, 以揭示大银鱼种群结构分化的产生条件, 指导在渔业生产中如何避免摄食同类的现象出现。

在大银鱼种群结构分化后的繁殖群体中, 雄性小个体在性选择中被淘汰的理论假说尚未得到直接的证明, 原因在于观察大银鱼繁殖行为的难度很大, 一是在水族箱中模拟自然条件观察, 这要求在冬季采集到足够数量的健康性

成熟雌雄个体和设置有效的水族箱；二是用水下摄像机在自然水体中直接观察，既要求在冰下弱光条件下能够看到大银鱼的行为又不能因为补光使大银鱼规避，因此只有红外线识别或声学摄像机才可能满足研究需要。

大银鱼是1年生鱼类，生活史中存在由浮游生物食性转变为鱼食性的过程，但这种转变又不完全和彻底，表明大银鱼是滤食性鱼类进化为捕食性鱼类的一个中间类型；同时大银鱼具有骨化不全和持续幼态的进化特征<sup>[10]</sup>；以及在自然条件下既有淡水种群又有海水种群，已经形成了不同盐碱度条件下的适应性进化。因此大银鱼具有较高的进化生态学研究价值，值得更多学者在诸方面对大银鱼进行深入研究。

#### 参考文献 (References):

- [1] 解玉浩, 解涵. 银鱼科鱼类的分类分布和种群生态[J]. 水产学杂志, 1997, 10(2): 11-19.  
Xie Y H, Xie H. Classification, distribution, and population ecology of Salangidae fishes[J]. Chinese Journal of Fisheries, 1997, 10(2): 11-19(in Chinese).
- [2] 张玉玲. 银鱼科鱼类系统生物地理学初步研究 [M]//张广学. 系统进化动物学论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 65-77.  
Zhang Y L. Preliminary study on systematic biogeography of Salangids[M]//Zhang G X. Proceedings on systematic and evolutionary zoology. Beijing: China Science and Technology Press, 1993: 65-77 (in Chinese).
- [3] 成庆泰, 郑葆珊. 中国鱼类系统检索 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.  
Cheng Q T, Zheng B S. Synopsis of fishes of China[M]. Beijing: Science Press, 1987 (in Chinese).
- [4] 王忠锁, 傅萃长, 雷光春. 中国银鱼的多样性及其保护对策[J]. 生物多样性, 2002, 10(4): 416-424.  
Wang Z S, Fu C Z, Lei G C. Biodiversity of Chinese icefishes (Salangidae) and their conserving strategies[J]. Biodiversity Science, 2002, 10(4): 416-424(in Chinese).
- [5] Yen M D. Species composition and distribution of the freshwater fish fauna of the North of Vietnam[J]. Hydrobiologia, 1985, 121(3): 281-286.
- [6] Saruwatari T, Oohara I, Kobayashi T. Salangid fishes: their past, present and future[J]. Fisheries Science, 2002, 68(S1): 71-74.
- [7] 胡传林, 刘家寿, 彭建华, 等. 我国银鱼研究概况及其移植的生态管理准则[J]. 湖泊科学, 2001, 13(3): 204-210.  
Hu C L, Liu J S, Peng J H, et al. Salangids in China and their ecological management principles for transplantation[J]. Journal of Lake Sciences, 2001, 13(3): 204-210(in Chinese).
- [8] 胡传林, 陈文祥, 刘家寿. 我国银鱼移植增殖现状及对策分析[J]. 水利渔业, 1998(2): 3-7.  
Hu C L, Chen W X, Liu J S. Status of Salangids transplantation and stocking in China and strategies[J]. Reservoir Fisheries, 1998(2): 3-7(in Chinese).
- [9] 施炜钢. 大银鱼增养殖技术讲座(连载)[J]. 科学养鱼, 1999(11): 8-9.  
Shi W G. Series of lectures on clearhead icefish aquaculture[J]. Scientific Fish Farming, 1999(11): 8-9(in Chinese).
- [10] 伍献文, 林人端. 银鱼的幼态持续及其在天演上的意义[J]. 水生生物学集刊, 1965, 5(2): 239-245.  
Wu X W, Lin R D. Occurrence of neoteny in Hemisalanx and its evolutionary significance[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1965, 5(2): 239-245(in Chinese).
- [11] Regan C T. LII. -A synopsis of the fishes of the subfamily Salangidae[J]. Annals and Magazine of Natural History, 1908, 2(11): 444-446.
- [12] Fang P W. Study on the fishes referring to Salangidae of China[J]. Sinensia, 1934, 4(9): 231-268.
- [13] 陈宁生. 太湖所产银鱼的初步研究[J]. 水生生物学集刊, 1956(2): 324-335.  
Chen N S. On the Salangid fishes of Lake Taihu[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1956(2): 324-335(in Chinese).
- [14] 朱成德. 太湖大银鱼生长与食性的初步研究[J]. 水产学报, 1985, 9(3): 275-287.  
Zhu C D. A preliminary study on growth and feeding habits of Ice-Fish in Taihu Lake[J]. Journal of Fisheries of China, 1985, 9(3): 275-287(in Chinese).
- [15] 王玉芬, 蒋全文. 太湖大银鱼生长特性的研究[J]. 湖泊科学, 1992, 4(1): 56-62.  
Wang Y F, Jiang Q W. Research of growth properties of *Protosalanx hyalocranius* Abbott[J]. Journal of Lake Sciences, 1992, 4(1): 56-62(in Chinese).
- [16] 孙帼英. 大银鱼卵巢的成熟期和产卵类型[J]. 水产学报, 1985, 9(4): 363-367.  
中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- Sun G Y. On the maturity of the female gonads and the type of spawning of the icefish[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1985, 9(4): 363-367(in Chinese).
- [17] 张开翔. 大银鱼胚胎发育的观察[J]. *湖泊科学*, 1992, 4(2): 25-37.
- Zhang K X. Observation on the embryonic development of *Protosalanx hyalocranius*[J]. *Journal of Lake Sciences*, 1992, 4(2): 25-37(in Chinese).
- [18] 胡绍坤, 沈其璋, 吴林坤. 太湖大银鱼卵子自然发育的观察[J]. *水产养殖*, 1992(3): 23-24.
- Hu S K, Shen Q Z, Wu L K. Observation on embryonic natural development of *Protosalanx hyalocranius* population in Taihu Lake[J]. *Journal of Aquaculture*, 1992(3): 23-24(in Chinese).
- [19] 张开翔, 庄大栋, 张立, 等. 洪泽湖所产大银鱼生物学及其增殖的研究[J]. *水产学报*, 1981, 5(1): 29-39.
- Zhang K X, Zhuang D D, Zhang L, et al. On the *Protosalanx hyalocranius* and its propagation in Hongze Hu[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1981, 5(1): 29-39(in Chinese).
- [20] 施炜纲, 周昕, 陈家涤, 等. 生态因子对大银鱼受精卵孵化和仔鱼存活率的影响[J]. *水产学报*, 1998, 22(4): 375-377.
- Shi W G, Zhou X, Chen J D, et al. Effect of ecological factors on the hatching and survival rate of *Protosalanx hyalocranius*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1998, 22(4): 375-377(in Chinese).
- [21] 沈其璋, 喻叔英. 岱海大银鱼消失原因分析[J]. *内蒙古农业科技*, 1997(1): 9-11, 28.
- Shen Q Z, Yu S Y. Analysis on the reason of *Protosalanx hyalocranius* disappearance in Daihai Lake[J]. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 1997(1): 9-11, 28(in Chinese).
- [22] 邬红娟, 徐木生, 周振红. 道观河水库大银鱼移植生物学效应—1生长[J]. *湖泊科学*, 1998, 10(3): 75-79.
- Wu H J, Xu M S, Zhou Z H. The biological effect of transplanting *Protosalanx hyalocranius* in Daoguanhe reservoir (I): Growth[J]. *Journal of Lake Sciences*, 1998, 10(3): 75-79(in Chinese).
- [23] 徐木生, 邬红娟, 刘英杰, 等. 道观河水库大银鱼移植生物学效应—3. 繁殖行为[J]. *湖泊科学*, 2000, 12(1): 94-96.
- Xu M S, Wu H J, Liu Y J, et al. Biological effect of transplanting *Protosalanx hyalocranius* in Daoguanhe reservoir (III): Propagating behavior[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2000, 12(1): 94-96(in Chinese).
- [24] 秦伟, 贾文方, 杭雪花. 我国湖泊水库银鱼移植增殖生态及技术[J]. *上海水产大学学报*, 1999, 8(4): 358-370.
- Qin W, Jia W F, Hang X H. The ecology and technique on transplantation and enhancement of Salangidae to lakes and reservoirs in China[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 1999, 8(4): 358-370(in Chinese).
- [25] 夏德全, 曹莹, 吴婷婷, 等. 太湖中大银鱼、太湖新银鱼和寡齿新银鱼群体的遗传结构[J]. *水产学报*, 1999, 23(3): 254-260.
- Xia D Q, Cao Y, Wu T T, et al. Genetic structures of population of *Protosalanx chinensis*, *Neosalanx taihuensis* and *Neosalanx oligodontis* in Lake Taihu[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1999, 23(3): 254-260(in Chinese).
- [26] 宋慧春, 吴坤明, 沈其璋, 等. 大银鱼卵膜孔结构的电镜观察[J]. *动物学报*, 1999, 45(1): 8-14.
- Song H C, Wu K M, Shen Q Z, et al. Electron microscopic observation on the micropyle structure of *Protosalanx hyalocranius*[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1999, 45(1): 8-14(in Chinese).
- [27] 富丽静, 解玉浩, 李勃, 等. 大银鱼耳石日轮与生长的研究[J]. *中国水产科学*, 1997, 4(2): 21-27.
- Fu L J, Xie Y H, Li B, et al. Studies on daily-growth increment of otolith and growth of large icefish[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1997, 4(2): 21-27(in Chinese).
- [28] 薛以平, 吴建广. 水库大银鱼种群变动规律及增殖利用初步研究[J]. *水产养殖*, 2004, 25(3): 37-40.
- Xue Y P, Wu J G. Preliminary study on population dynamics principle and its application in stocking fisheries of clearhead icefish[J]. *Journal of Aquaculture*, 2004, 25(3): 37-40(in Chinese).
- [29] 戈志强, 朱江, 朱玉芳, 等. 不同光照、温度对大银鱼受精卵孵化率的影响[J]. *淡水渔业*, 2003, 33(5): 23-24.
- Ge Z Q, Zhu J, Zhu Y F, et al. Effects of different light intensity and temperature on hatching rate of *Protosalanx hyalocranius*[J]. *Freshwater Fisheries*, 2003, 33(5): 23-24(in Chinese).
- [30] 赵丽爽, 程飞, 张磊, 等. 洪泽湖大银鱼和太湖新银鱼的生长、死亡参数及资源利用状况[J]. *水生生物学报*,



- 2018, 42(2): 240-249.
- Zhao L S, Cheng F, Zhang L, *et al.* Growth, mortality and evaluation of resource utilization for two Salangidae, *Protosalanx hyalocranius* and *Neosalanx taihuensis* in Hongze Lake[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, 42(2): 240-249(in Chinese).
- [31] 唐作鹏, 解涵, 解玉浩, 等. 水丰水库大银鱼的生长及群体结构研究[J]. 大连水产学院学报, 2003, 18(3): 164-169.
- Tang Z P, Xie H, Xie Y H, *et al.* Growth and population structure of *Protosalanx hyalocranius* in Shuifeng Reservoir, Liaoning, China[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2003, 18(3): 164-169(in Chinese).
- [32] 解涵, 唐作鹏, 解玉浩, 等. 水丰水库大银鱼的繁殖生物学[J]. 大连水产学院学报, 2001, 16(2): 79-86.
- Xie H, Tang Z P, Xie Y H, *et al.* Aspects of reproductive biology of large icefish (*Protosalanx hyalocranius*) in Shuifeng Reservoir[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2001, 16(2): 79-86(in Chinese).
- [33] 张际峰, 汪承润, 王顺昌, 等. 鲌鱼、太湖新银鱼和大银鱼18S rRNA基因的克隆与序列分析[J]. 武汉大学学报(理学版), 2010, 56(1): 87-92.
- Zhang J F, Wang C R, Wang S C, *et al.* Cloning and sequence analysis of 18S rRNA Gene fragment of *tenualosa reevesii*, *Neosalanx Taihuensis* and *Protosalanx hyalocranius*[J]. *Journal of Wuhan University (Natural Science Edition)*, 2010, 56(1): 87-92(in Chinese).
- [34] Xiao M S, Bao F Y, Cui F *et al.* Mitochondrial DNA variation of *Protosalanx hyalocranius* in the Huaihe River[J]. *Animal Genetics*, 2016, 47(3): 388-389.
- [35] 赵亮, 高贵珍, 张兴桃. 利用磁珠富集法筛选大银鱼微卫星标记的初步研究[J]. 宿州学院学报, 2010, 25(11): 24-26, 53.
- Zhao L, Gao G Z, Zhang X T. Isolation of microsatellite loci using magnetic-bead enrichment protocol in *Protosalanx hyalocranius*[J]. *Journal of Suzhou University*, 2010, 25(11): 24-26, 53(in Chinese).
- [36] Tang F J, Li D M, Liu W, *et al.* Evolutionary tendency of clearhead icefish *Protosalanx hyalocranius* inferring Mitochondrial DNA variation analyses in Amur (Heilongjiang) River catchment, China[J]. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2018, 20(10): 2329-2334.
- [37] Liu K, Xu D P, Li J, *et al.* Whole genome sequencing of Chinese clearhead icefish, *Protosalanx hyalocranius*[J]. *Gigascience*, 2017, 6(4): giw012.
- [38] Zhang J, Li M, Xu M Q, *et al.* Molecular phylogeny of icefish Salangidae based on complete mtDNA cytochrome *b* sequences, with comments on estuarine fish evolution[J]. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2007, 91(2): 325-340.
- [39] 张颖, 董仕, 王茜, 等. 大银鱼和太湖新银鱼同工酶遗传组成的研究[J]. 大连水产学院学报, 2005, 20(2): 111-115.
- Zhang Y, Dong S, Wang Q, *et al.* The isozyme genetic structures in large icefish (*Protosalanx hyalocranius*) and Taihu Lake icefish (*Neosalanx taihuensis*)[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2005, 20(2): 111-115(in Chinese).
- [40] 高天翔, 陈省平, 韩志强, 等. 大银鱼和小齿日本银鱼线粒体细胞色素b和16S rRNA基因部分序列分析[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(5): 791-794.
- Gao T X, Chen X P, Han Z Q, *et al.* Partial sequence analysis of mitochondrial Cytochrome *b* and 16S rRNA Genes of *Protosalanx hyalocranius* and *Salangichthys microdon*[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2004, 34(5): 791-794(in Chinese).
- [41] 周彦锋, 徐东坡, 单俊峰, 等. 3个地理群体大银鱼营养成分的分析与评价[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(5): 734-740.
- Zhou Y F, Xu D P, Shan J F, *et al.* An analysis and evaluation of nutritional components of *Protosalanx hyalocranius* Abbott from three wild populations[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2011, 20(5): 734-740(in Chinese).
- [42] 杨健, 徐勋, 刘洪波. 太湖和洪泽湖大银鱼(*Protosalanx hyalocranius*)体内元素的积累特征及产地判别[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(2): 201-207.
- Yang J, Xu X, Liu H B. Bioaccumulation of elements in icefish *Protosalanx hyalocranius* from the Taihu Lake and Hongze Lake[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2009, 40(2): 201-207(in Chinese).
- [43] 周彦锋, 徐东坡, 方弟安, 等. 大银鱼不同地理群体的形态差异与判别分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(3): 54-61.
- Zhou Y F, Xu D P, Fang A D, *et al.* Analysis of morpho-

- logical variation among four geographic populations of *Protosalanx hyalocranius* in China[J]. *Journal of South-west University (Natural Science Edition)*, 2016, 38(3): 54-61(in Chinese).
- [44] 赵晓临, 杨培民, 闫有利, 等. 浅析碧流河水库陆封型香鱼消亡原因及恢复措施[J]. *水生态学杂志*, 2009, 2(3): 145-148.
- Zhao X L, Yang P M, Yan Y L, *et al.* Reasons and countermeasures of population decline of landlocked Ayu *Plecoglossus altivelis* in Biliuhe Reservoir[J]. *Journal of Hydroecology*, 2009, 2(3): 145-148(in Chinese).
- [45] Kang B, Deng J M, Wang Z M, *et al.* Transplantation of icefish (Salangidae) in China: glory or disaster?[J]. *Reviews in Aquaculture*, 2015, 7(1): 13-27.
- [46] Tang F J, Liu W, Wang J L, *et al.* On the occurrence of the clearhead icefish, *Protosalanx hyaloranius* (Salmoniformes: Salangidae), in the Songhua River, the largest tributary of Amur River[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2013, 29(1): 237-238.
- [47] Tang F J, Liu W, Wang J L, *et al.* Clearhead icefish, (*Protosalanx hyalocranius* Abbott, 1901) (Salmoniformes, Salangidae), a new non-native species has established a population in the Amur River, China[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2015, 31(1): 177-179.
- [48] 唐富江. 兴凯湖外来大银鱼生活史与摄食生态学研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.
- Tang F J. Study on life history and trophic ecology of alien clearhead icefish (*Protosalanx hyalocranius*) in Lake Xingkai[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2013 (in Chinese).
- [49] 唐富江, 刘伟, 王继隆, 等. 兴凯湖大银鱼食物组成与食性转化[J]. *动物学研究*, 2013, 34(5): 493-498.
- Tang F J, Liu W, Wang J L, *et al.* Diet composition and transition of clearhead icefish (*Protosalanx hyalocranius*) in Lake Xingkai[J]. *Zoological Research*, 2013, 34(5): 493-498(in Chinese).
- [50] 戈志强, 朱江, 沈其璋, 等. 关于大银鱼 *Protosalanx hyaloeranius* (Abbott) 移植现状及其发展前景的探讨[J]. *现代渔业信息*, 2001, 16(7): 13-16.
- Ge Z Q, Zhu J, Shen Q Z, *et al.* A study on status and prospective of *Protosalanx hyaloeranius* (Abbott) transplanting technique[J]. *Modern Fisheries Information*, 2001, 16(7): 13-16(in Chinese).
- [51] 郭立. 银鱼科鱼类的分子系统发育研究[D]. 上海: 复旦大学, 2010.
- Guo L. Study on molecular phylogeny of Salangidae (Osmeriformes)[D]. Shanghai: Fudan University, 2014 (in Chinese).
- [52] Tang F J, Liu W, Wang J, *et al.* Growth, length-weight relationship and biological information on the clearhead icefish (*Protosalanx hyalocranius* Abbott, 1901) in Lake Khanka (Xingkai)[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2012, 28(5): 842-844.
- [53] 尤洋, 胡庚东, 何文辉, 等. 大银鱼温度基准值的研究[J]. *青海大学学报(自然科学版)*, 1999, 17(4): 24-27.
- You Y, Hu G D, He W H, *et al.* Study on the Criterion of water Temperature in *Protosalanx hyalocranius*[J]. *Journal of Qinghai University (Natural Science Edition)*, 1999, 17(4): 24-27(in Chinese).
- [54] Huss M, Persson L, Byström P. The origin and development of individual size variation in early pelagic stages of fish[J]. *Oecologia*, 2007, 153(1): 57-67.
- [55] Shelton W L, Davies W D, King T A, *et al.* Variation in the growth of the initial year class of largemouth bass in West Point Reservoir, Alabama and Georgia[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1979, 108(2): 142-149.
- [56] Huston M A, DeAngelis D L. Size bimodality in monospecific populations: a critical review of potential mechanisms[J]. *American Naturalist*, 1987, 129(5): 678-707.
- [57] Post D M. Individual variation in the timing of ontogenetic niche shifts in largemouth bass[J]. *Ecology*, 2003, 84(5): 1298-1310.
- [58] Huss M, Byström P, Persson L. Resource heterogeneity, diet shifts and intra-cohort competition: effects on size divergence in YOY fish[J]. *Oecologia*, 2008, 158(2): 249-257.
- [59] 孙帼英, 周忠良. 长江口及其邻近海域大银鱼生态的初步研究[J]. *海洋湖沼通报*, 1989(4): 76-79.
- Sun G Y, Zhou Z L. A preliminary study of ecology of *Protosalanx hyalocranius* in Yangtze River estuary and nearby marine waters[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1989(4): 76-79(in Chinese).
- [60] 王继隆, 刘伟, 唐富江. 黑龙江水系(中国)大麻哈鱼生物学特征分析[J]. *中国水产科学*, 2013, 20(1): 93-100.
- Wang J L, Liu W, Tang F J. Analysis of biological traits

- of Chum salmon (*Oncorhynchus keta* Walbaum) in the Amur River, China[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(1): 93-100(in Chinese).
- [61] 施炜纲, 徐东坡, 刘凯, 等. 大银鱼的胚胎发育及仔鱼习性[J]. *大连海洋大学学报*, 2011, 26(5): 391-396.
- Shi W G, Xu D P, Liu K, *et al.* The embryonic development and habit of larvae in large icefish *Protosalanx hyalocranius*[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2011, 26(5): 391-396(in Chinese).
- [62] 解玉浩. 大银鱼的繁殖生物学特性及移植放流的主要措施[J]. *水利渔业*, 1996(1): 6-8, 20.
- Xie Y H. Reproductive characteristics of *Protosalanx hyalocranius* and main measures of stocking[J]. *Reservoir Fisheries*, 1996(1): 6-8, 20(in Chinese).
- [63] 程汉良, 韩雪峰, 张全成, 等. 辽河水系大银鱼繁殖生物学初探[J]. *中国水产科学*, 2003, 10(5): 437-439.
- Cheng H L, Han X F, Zhang C Q, *et al.* Reproductive biology of *Protosalanx hyalocranius* in Liaohe River water system[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2003, 10(5): 437-439(in Chinese).
- [64] Hu S Q, Zhang H C, Shen G L, *et al.* Effects of 17 $\beta$ -estradiol and 17 $\alpha$ -ethinylestradiol on the embryonic development of the clearhead icefish (*Protosalanx hyalocranius*)[J]. *Chemosphere*, 2017, 176: 18-24.
- [65] 戈志强, 秦伟, 朱玉芳. 重金属离子Pb<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup>和Cd<sup>2+</sup>对大银鱼胚胎发育和仔鱼存活的影响[J]. *内陆水产*, 2004, 29(11): 35-36.
- Ge Z Q, Qin W, Zhu Y F. Influence of heavy metals Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> on embryo development and fry survival of *Protosalanx hyalocranius*[J]. *Inland Fisheries*, 2004, 29(11): 35-36(in Chinese).
- [66] 宋慧. 基于转录组测序技术的大银鱼胚胎盐胁迫适应分子机理研究 [D]. 晋中: 山西农业大学, 2014.
- Song H. The research of *Protosalanx hyalocranius* embryo's molecular adaption of mechanism to salt stress based on transcriptome sequencing technology[D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2014 (in Chinese).
- [67] 赵斌, 蔡庆华, 刘瑞秋, 等. 岱海水质咸化过程中若干生态因子的变化[J]. *水生生物学报*, 2000, 24(5): 502-508.
- Zhao B, Cai Q H, Liu R Q, *et al.* Studies on the changes of several ecological factors during the process of water salinization in Daihai Lake, China[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, 24(5): 502-508(in Chinese).
- [68] 唐富江, 刘伟, 王继隆, 等. 兴凯湖与小兴凯湖鱼类组成及差异分析[J]. *水产学杂志*, 2011, 24(3): 40-47.
- Tang F J, Liu W, Wang J L, *et al.* Fish composition in Lake Xingkai (Khanka) and Lake Mini-Xingkai[J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2011, 24(3): 40-47(in Chinese).

## Biology and fishery ecology of *Protosalanx chinensis*: a review

TANG Fujiang<sup>1\*</sup>, GAO Wenyan<sup>1</sup>, LI Huiqin<sup>2</sup>, LIU Wei<sup>1</sup>

(1. Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China;

2. Remote Sensing Station for Fishery Sciences, Chinese Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100141, China)

**Abstract:** *Protosalanx chinensis* is a small economic fish distributed exclusively in the Eastern Asia and most of the relative research work was mainly conducted by Chinese researcher. We summarized the latest researches on ichthyology, growth, reproduction, incubation and embryo development, transplantation and yield fluctuation, invasiveness of *P. chinensis* in this paper. The corrected scientific name of this fish is not widely used yet. A large amount of genetic variations have been detected and morphological changes have also occurred after transplanting for so many years. Growth rate differences in the same month explained why the ultimate body length of northern populations is not less than that of southern populations, although the growth period is shorter in northern area than southern area. Whether transition to feed on fish steadily or not determined the growth rate and ultimate body size of *P. chinensis*, however, diet base for size-structured population forming is not known yet. Whether size-structured population forms or not determines the sex selective pattern, which has not been studied yet. *P. chinensis* performs spawning once in life span and the fertilizing rate of natural breeding is higher than artificial breeding, therefore, there is no need of stocking fertilized eggs if the appropriate number of reproductive individuals remain after commercial fishing. Embryo development and the impacting factors were well known which is enough for artificial production of fertilized eggs. *P. chinensis* is a kind of saline-alkaline tolerance species, and can serve as a candidate for saline-alkaline fisheries. It is agreed that overexploitation of diet resources accounts for the dramatic yield decline of *P. chinensis*, but the relative ecological research has not been conducted to guide the sustainable fisheries yet. We also suggested the countermeasures against invasion of *P. chinensis*.

**Key words:** *Protosalanx chinensis*; biology; fishery ecology; fishery management

**Corresponding author:** TANG Fujiang. E-mail: Tangfujiang@hrfri.ac.cn

**Funding projects:** Special Scientific Research Funds for Central Nonprofit Institute (HSY201806M); National Natural Science Foundation of China (31201993)