

大弹涂鱼研究的回顾与展望

张其永, 洪万树

(厦门大学海洋与环境学院海洋学系, 福建 厦门 361005)

摘要: 概述了厦门大学海洋学系 20 年来开展大弹涂鱼基础理论及其应用研究成果, 介绍了大弹涂鱼生殖的生理生态, 包括年龄生长、生殖力、性腺发育和早期发育、贮精囊结构与功能、精子的生理特性及其冷冻保存、产卵习性、耗氧率和耐低氧能力、幼鱼和成鱼食性、消化酶活性以及毒性效应等。室内水泥池和室外土池生态育苗均取得突破性进展, 形成了成鱼规范化养殖操作管理规程。文中还提出了今后继续研究的思路。

关键词: 大弹涂鱼; 生长; 发育; 生理生态; 人工繁殖; 育苗; 育种

中图分类号: Q958.8

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2006)S2-0097-12

大弹涂鱼 (*Boleophthalmus pectinirostris*) 为暖水广温广盐性鱼类, 生活于河口港湾潮间带淤泥滩涂及红树林区, 分布于中国、朝鲜和日本, 我国产于江苏、浙江、福建、台湾、广东和广西沿海。大弹涂鱼肉味鲜美, 且有滋补强身的功效, 含有常见的 16 种氨基酸, 其中 8 种为人体所必需的氨基酸^[1], 深受群众的喜爱, 市场需求量大。我国台湾省早在 20 世纪 60 年代就已开始人工养殖大弹涂鱼^[2]。虽然我国大陆东南沿海大弹涂鱼养殖起步较晚, 到 20 世纪 80 年代末才开始养殖, 但随后养殖发展很快^[3,4], 至 2004 年, 我国东南沿海大弹涂鱼的养殖面积已达到 13 000 公顷。大弹涂鱼养殖具有管理简便、成本低、经济价值高以及无污染等特点, 是一种具有市场前景的滩涂养殖经济鱼类。

我国大弹涂鱼养殖发展面临着两个问题, 一是苗种不足问题日益突出, 限制了养殖面积的扩大和养殖密度的提高; 二是养殖过程中缺乏科学性和规范化管理, 养殖效率低下。为了我国大弹涂鱼养殖的可持续发展, 获得较理想的经济效益和生态效益, 在国家自然科学基金、福建省自然科学基金和福建省科技重大项目的资助下, 厦门大学海洋学系张其永等自 1986 年以来开展了大弹涂鱼的年龄生长和生殖力、性腺和早期发育、生殖生理生态、耗氧率、孵化率、消化系统发育和食性、消化酶活性、污染物的毒性效应以及人工

繁殖育苗和成鱼养殖等方面的研究^[5-52], 取得了丰硕的创新性成果。“大弹涂鱼资源增殖基础研究”1995 年获国家海洋局科技进步奖, “大弹涂鱼生产性育苗技术及规范化养殖”项目 2006 年通过福建省科技厅组织专家鉴定, 鉴定专家认为, 该项目成果总体上达到国际先进水平, 其中规模化土池育苗技术居国际领先水平。本文就大弹涂鱼研究 20 年作一回顾与展望。

1 年龄、生长和生殖力

比较观察大弹涂鱼的鳞片、耳石、脊椎骨和胸鳍支鳍骨的年轮特征, 根据中心位置和年轮的清晰程度, 选取胸鳍第 2 支鳍骨作为年龄鉴定之用, 并以第 2 背鳍第 5~11 鳍条下方中央部位的鳞片作为备用核对材料。取性腺成熟度为第 Ⅲ期卵巢的雌鱼作为生殖力测定材料^[11]。

1.1 年龄组成和体长组成

大弹涂鱼种群年龄结构比较简单, 除 0 龄组未采捕到外, 捕捞群体由 ~ 龄组 4 个世代组成。龄组占 44.24%, 龄组占 34.82%, 龄组占 17.18%, 龄组占 3.76%。竹屿虾池大弹涂鱼体长范围较大 (56~140 mm), 体重范围也较大 (总体重 3.1~52.9 g); 海沧滩涂的体长范围较小 (52~104 mm), 体重范围也较小 (总体重 2.8~17.6 g)^[11]。

1.2 生长特性

1.2.1 体长与支鳍骨骨长的关系

大弹涂鱼体长 L (mm) 或全长 TL (mm) 与胸鳍第 2 支鳍骨骨长 R (mm) 呈线性关系, 可用直线回归方程 $R = a + bL$ 表示:

$$R = 0.06612 + 0.02883L$$

(相关系数 $r = 0.9947$)

收稿日期: 2006-11-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (85040100 30170739 40276040 40476056), 福建省自然科学基金项目 (B0010005 B9910006 B210003), 福建省重大科技项目 (2003N026) 和福建省科技重大专项 (2004SZ01-02) 共同资助

作者简介: 张其永 (1927-), 男, 教授。

E-mail: wshong@xmu.edu.cn

$R = 0.024887L - 0.16504$

(相关系数 $r = 0.9328$)

1.2.2 体长与体重的关系

大弹涂鱼属于等速生长类型, 其体长 L (mm) 与纯体重 W (g) 或总体重 W' (g) 均呈幂函数增长相关, 可用 $W = aL^b$ 表示. 依据各体长组的平均体长与其相应的平均纯体重或平均总体重, 分别求得关系式为:

$W = 1.4661 \times 10^{-5} L^{3.0097}$ (相关系数 $r = 0.9990$)

$W' = 1.7397 \times 10^{-5} L^{3.0052}$

(相关系数 $r = 0.9983$)

1.3 生殖力

雌鱼个体绝对生殖力为 4100~24600 粒, 平均 12600 粒, 随着年龄的增加而增大. 个体相对生殖力 FW 为 329~2117 粒/g, 平均 744 粒/g

2 性腺发育和早期发育

2.1 卵细胞发育

第 1 时相 (卵原细胞时相): 卵原细胞呈圆形或梨形, 胞径 6.0~20.1 μm , 平均 13.1 μm . 胞核大而圆, 占卵原细胞大部分体积, 染色质均匀分布, 核仁 1~2 个, 位于核中央, 染色质分布均匀. 胞质少, 线粒体丰富, 卵膜仅一层, 即原始的透明带. 第 2 时相 (卵母细胞单层滤泡时相): 卵母细胞圆形或梨形, 卵径 13.4~107.2 μm , 平均 60.3 μm . 胞质嗜碱性强, 游离核糖体分散于胞质中. 核仁多个, 分布在核膜近周. 染色质呈丝网状分布. 卵膜仅一层透明带, 卵膜外出现单层滤泡细胞, 即颗粒

细胞. 第 3 时相 (卵母细胞出现脂滴和卵黄时相): 卵母细胞圆形, 卵径 67.0~234.5 μm , 平均 150.75 μm . 胞质嗜碱性减弱, 胞质中有发达的线粒体、高尔基复合体、粗面内质网和游离核糖体, 卵黄泡逐渐增多, 并扩散到整个胞质. 胞质中出现脂滴, 苏丹黑 B 染色呈蓝黑色, 靠近卵膜近周, 出现细小的卵黄粒. 核仁多个, 大多分布于胞核的周缘. 透明带内侧出现一层外放射带. 滤泡细胞由单层变为二层, 内层为颗粒细胞, 外层为鞘膜细胞. 第 4 时相 (卵母细胞卵黄充满时相): 根据细胞大小、卵黄粒充满程度和胞核的位置, 可以分为早期、中期和晚期. 早期卵母细胞卵径 147.4~428.8 μm , 平均 288.1 μm . 卵黄粒由外向内逐渐扩展, 卵黄泡多分布于胞质外层. 核膜呈不规则的波纹状, 核仁多个. 外放射带内增生一层内放射带. 卵膜有许多孔道和微绒毛. 中期卵母细胞继续增大, 卵径 187.6~455.6 μm , 平均 321.6 μm . 胞质中不断积累卵黄粒, 小卵黄粒融合为大卵黄粒. 脂滴在核周区开始合并为小油球, 核中位. 大部分卵黄泡被挤到卵膜内缘的皮质区而形成皮质泡. 晚期卵径 227.8~469.0 μm , 平均 348.4 μm . 卵黄积累到最大程度, 并不断地融合. 小油球合并成多个油球, 并趋向集中. 核开始向动物极移动, 核膜模糊. 透明带上出现辐射状的丝状物, 将来排卵后变为粘着丝. 第 5 时相 (卵母细胞核极化时相): 卵母细胞发育成熟, 呈圆球形, 透明且呈淡黄色, 卵径 0.51~0.63 mm. 卵黄融合为一体. 胞核极化, 位于动物极, 核膜消失. 多个油球集中分布. 皮质泡明显减少. 卵膜变薄, 孔道融合, 微绒毛消失. 卵膜的一端有一

表 1 大弹涂鱼胚胎发育进程

Ta b 1 Embryonic development of *B. pectinirostris*

发育期	受精后时间 (h min)	持续时间 (h min)	水温 ℃	发育期	受精后时间 (h min)	持续时间 (h min)	水温 ℃
胚盘形成	0 40	0 10	26.5	胚体形成期	11 35	2 00	27.9
2细胞期	0 50	0 20	26.5	视泡出现期	13 35	0 20	27.7
4细胞期	1 10	0 25	26.7	克氏泡出现期	15 50	2 15	27.6
8细胞期	1 35	0 20	26.8	尾芽期	16 05	0 50	27.6
16细胞期	1 55	0 25	27.1	鳍褶出现期	16 55	1 55	27.4
32细胞期	2 20	0 30	27.5	听囊期	18 50	0 55	27.4
64细胞期	2 50	0 55	27.8	晶体出现期	19 45	0 25	27.2
桑椹期	3 35	0 45	27.8	耳石出现期	20 10	1 55	27.2
高囊胚期	4 30	0 45	28.0	心脏搏动期	22 05	1 55	27.0
低囊胚期	6 15	2 05	28.0	血液循环期	26 35	5 30	28.0
原肠早期	7 20	0 40	28.0	肠管形成期	32 05	15 30	28.5
原肠中期	8 00	0 35	28.0	黑色素出现期	47 35	12 30	28.0
原肠晚期	8 35	0 30	28.0	胸鳍原基期	60 05	11 30	28.3
神经胚期	9 05	1 30	28.0	鳔雏形期	71 35	16 00	28.0
胚孔封闭期	10 35	1 00	27.9	孵出期	87 35	0 40	29.0

丛粘着丝。成熟卵呈游离状态, 排放于卵巢腔中。第 6 时相(卵母细胞退化时相): 产卵后卵巢内残留一些退化的成熟透明卵和第 3、4 时相的卵母细胞, 还可以见到一些排卵后的空滤泡膜。颗粒细胞变成吞噬细胞进入卵内吞噬卵黄。最后卵母细胞萎缩消失^[13, 22]。

2.2 早期发育

2.2.1 胚胎发育(从受精卵到孵化出膜)

大弹涂鱼成熟卵为圆球形, 卵径 0.51~0.63 mm, 卵黄淡黄色, 内有多数油球。卵膜的一端有一丛粘着丝。在水温 26.5~29.0℃, 盐度 25~27 的条件下, 受精卵经 87 h 35 min 开始陆续孵出仔鱼^[8]。胚胎发育进程见表 1。

2.2.1 胚后发育(从孵化出膜到鳞被完整)

在水温 26.5~29.0℃, 盐度 25~27 的条件下, 从孵化出膜到鳞被完整需要 32 d。各期的形态特征如下: (1) 仔鱼期(从孵化出膜到各鳍鳍条发育完整): 初孵仔鱼全长 2.36~2.63 mm, 肌节明显(24 对)。卵黄囊圆球形, 囊径 0.32~0.35 mm, 多油球。消化道明显, 尾鳍褶出现鳍条原基。孵化后第 2 天的前期仔鱼全长 2.73 mm, 卵黄囊径 0.31 mm, 口稍张开, 消化道出现褶皱, 肛门外通, 尾鳍褶出现鳍条。孵化后第 3 天的前期仔鱼全长 2.82 mm, 卵黄囊径 0.27 mm, 口裂 0.1 mm, 胸鳍褶扩张, 呈圆扇形。孵化后第 4 天的前期仔鱼全长 2.92 mm, 卵黄囊径 0.12 mm, 肝脏位于消化道前端下方, 胸鳍褶、第 2 背鳍褶和臀鳍褶出现鳍条, 尾鳍褶出现点状黑色素。孵化后第 5 天的后期仔鱼全长 3.67 mm, 卵黄囊完全被吸收, 臀鳍褶基部上方、沿尾部的腹缘有 13 个黑色素斑点。孵化后第 6 天的后期仔鱼全长 4.0 mm, 胆囊明显。孵化后第 7 天的后期仔鱼全长 4.2 mm, 消化道呈“S”形, 回曲 1 次。孵化后第 8 天的后期仔鱼全长 4.6 mm, 消化道回曲 2 次, 脊椎形成, 尾椎末端上翘。除第 1 背鳍外, 各鳍鳍条开始骨化分节。臀鳍后基部的上方有一个红色素丛, 呈树枝状。孵化后第 14 天的后期仔鱼全长 6.5 mm, 消化道回曲 3 次, 髓棘和脉棘明显, 除第 1 背鳍外, 各鳍鳍条大多已分节。(2) 稚鱼期(从各鳍鳍条发育完整到鳞被形成): 孵化后第 23 天发育进入稚鱼期, 全长 9.5~11.0 mm, 第 1 背鳍完整, 5 根鳍棘明显竖起。孵化后第 28 天稚鱼, 全长 14.5 mm, 脊椎骨 26 枚, 尾椎骨末端已分化为 1 块尾上骨和 4 块尾下骨。尾鳍呈圆扇形, 有 17 根鳍条。孵化后第 31 天稚鱼, 全长 16.0 mm, 尾鳍基部和背鳍基部以及体侧中央出现透明的小圆鳞。体背侧有 8 列梅花状黑色素斑纹。孵化后第 31 天稚鱼, 全长 18.0 mm, 小圆鳞排列趋于完整。消化道回曲 5 次。(3) 幼鱼早期(鳞被完整以后): 孵化后第 37 天发育进入幼鱼

早期, 全长 18.5 mm, 外形与成鱼相似。体色变灰, 眼移到头上侧, 上下颌出现牙齿, 消化道回曲 6 次。各鳍鳍条数与成鱼相同。此时开始钻洞穴居, 由摄食动物性饵料转食底栖硅藻。孵化后第 50 天幼鱼全长 25.0 mm, 孵化后第 60 天幼鱼全长 30.0 mm^[5, 8, 12]。

3 生殖的生理生态

3.1 大弹涂鱼贮精囊形态结构

应用组织学和透射电镜研究大弹涂鱼贮精囊的形态结构。结果表明: (1) 贮精囊是其精巢的一对附属腺体, 黑色素分布于翼状贮精囊表面; (2) 贮精囊外包结缔组织被膜, 并向内伸出结缔组织隔膜, 被膜和隔膜中含有间质细胞、平滑肌纤维、毛细血管、成纤维细胞和纤维细胞; (3) 结缔组织隔膜将贮精囊分隔成为许多小室腔。被膜和隔膜上排列着单层上皮细胞, 不同小室腔的上皮细胞发育并不同步, 按外形分为柱形和立方形。小室腔内还有片状分泌物, PAS 呈阳性反应, 提示分泌物为粘多糖蛋白; (4) 电镜显示上皮细胞顶部有微绒毛结构。生殖期间上皮细胞内粗面内质网、管状嵴线粒体和高尔基复合体发达, 上皮细胞顶部有无膜包裹的分泌颗粒。排精后细胞器退化, 胞质中出现大量的大空泡; (5) 在生殖高峰期不论贮精囊的近端、中央或远端均先后贮存大量的精子, 并混合在分泌物中^[43]。

3.2 精子的生理特性及其冷冻保存

大弹涂鱼精子活率的适盐范围为 15~20 适宜 pH 范围 6.02~8.01。在适宜的盐度和 pH 条件下, 精子游动时间最长持续可达 80~90 min^[24]。由此可见, 大弹涂鱼的生理特性与其栖息于河口滩涂的生境是相适应的。大弹涂鱼精液冷冻保存 9 d 后解冻计算精子的活率和游动时间。结果表明, 单独使用甘油(10%)作抗冻保护剂时, 精子的活率最低(35%), 游动时间最短(7 min); 而混合使用甘油(10%)加 DM SO (10%)作抗冻保护剂时, 精子的活率最高(90%), 游动时间最长(28 min)^[25]。

3.3 潮间带大弹涂鱼产卵习性和自然受精卵孵化

生殖季节(5~6月)退潮期间, 在福建省福宁湾潮间带高潮区滩涂现场观察大弹涂鱼洞穴主洞口和次洞口的形状, 然后沿着洞穴的走向挖至洞穴底部, 观察整个洞穴管道的形态和产卵室在洞穴中的位置, 另用环氧树脂和聚酰胺树脂固化剂混合(1:1)后从主洞口灌入洞穴中, 凝固后形成洞穴树脂模型, 24 h 后取出测量并拍照, 研究洞穴的整体结构。在观察洞穴形态结构时同时也观察大弹涂鱼群体产卵时间和受

精卵在产卵室内的分布情况,并将受精卵连同整个产卵室带回实验室,计数受精卵的数量和受精率,并进行自然受精卵孵化实验.生殖期间在潮间带高潮区滩涂用尼龙网围成1个 4 m^2 的实验区,中间用一张尼龙网隔开,将其分为2个小区,第1小区为雌鱼区,放养6尾性成熟的雌性大弹涂鱼;第2小区为雄鱼区,放养6尾性成熟的雄性大弹涂鱼.放养5 d后在第1小区和第2小区内分别见到6个大弹涂鱼主洞口,10 d后挖洞观察其交配产卵情况^[49].

研究结果表明,大弹涂鱼洞穴有2个拟圆形的洞口,其中一个进出的主洞口,其周围常有胸鳍爬过的痕迹;另一个是畅通水流和空气的次洞口,有时被薄层泥土盖住.主洞口长径为 $2.5\sim 4.2\text{ cm}$,短径为 $1.6\sim 3.0\text{ cm}$.次洞口长径为 $2.1\sim 3.5\text{ cm}$,短径为 $1.4\sim 2.2\text{ cm}$.主洞口与次洞口的间距为 $11\sim 23\text{ cm}$.多数洞穴剖面略呈Y字形,其深度和宽度依泥层的软硬和厚薄而不同.依据环氧树脂洞穴模型的测量结果,春季(5月)大弹涂鱼洞穴深度为 $13\sim 50\text{ cm}$,宽度为 $50\sim 76\text{ cm}$;秋季(10月)洞穴深度为 $11\sim 44\text{ cm}$,宽度为 $19\sim 56\text{ cm}$.春季洞穴的深度和宽度平均值(分别为 32.8 cm 和 62.0 cm)均大于秋季(分别为 25.6 cm 和 35.2 cm).春季大弹涂鱼洞穴内出现1个产卵室,秋季则无产卵室.环氧树脂洞穴模型中的产卵室位于洞穴中下部,产卵室的入口处较低,末端较高,向上倾斜 $10\sim 15^\circ$,产卵室长度为 $10.0\sim 14.0\text{ cm}$,高度为 $2.0\sim 3.5\text{ cm}$,宽度为 $3.5\sim 4.5\text{ cm}$.现场实测产卵室的长度为 14.0 cm ,高度为 3.8 cm ,宽度为 6.5 cm .产卵室横切面的上方呈拱形,底部平坦^[49].

非生殖季节,雌、雄大弹涂鱼分居于各自的洞穴内,洞穴内没有产卵室;生殖季节洞穴内出现一个产卵室,性成熟雌、雄鱼配对在产卵室内交配产卵受精,产卵后雌鱼离洞,由雄鱼留洞护卵.大弹涂鱼群体分批产卵,每个月群体产卵2批次,一般是农历初八至十三和廿三至廿八(小潮水到临近大潮水期间).交配产卵期间洞穴的主洞口和次洞口大多封闭.受精卵依靠粘着丝粘附在产卵室的顶部和周壁,产卵室底部未见有受精卵粘着.每个产卵室的受精卵总数为 $3595\sim 4314$ 粒,平均为 3957 粒,受精率高达 $98\%\sim 100\%$,平均为 $99.67\pm 0.75\%$ ($n=12$).产卵室内受精卵密度为 $58\sim 114$ 粒/ cm^2 ,平均为 87.13 ± 14.56 粒/ cm^2 ($n=15$).产卵室受精卵的粘着丝位于上端,胚体位于下方,受精卵均呈倒立状态.受精卵在光照 20 k 、水温为 $20.4\sim 25.2^\circ\text{C}$,盐度 17.2 条件下的孵化结果表明,始终全淹没于海水的平均孵化率($81.19\%\sim 82.90\%$)高于受精卵湿露 24 h 后才全淹没于海水的平均孵化

率($76.38\%\sim 79.19\%$).湿露而不淹没于海水的受精卵不能孵化出仔鱼^[49].

4 耗氧率和耐低氧能力

4.1 胚胎

经激素催熟后人工授精获得受精卵,挑选正常发育的胚胎作实验材料.耗氧率实验是将受精卵放入密闭的呼吸测量装置内,每次测定100个受精卵的耗氧率,每个选定的时间点共测定 $5\sim 6$ 次($n=5\sim 6$).实验在水温 $25.0\pm 0.1^\circ\text{C}$ 、盐度 17.0 和黑暗条件下(约 1 k)进行.耐低氧能力实验是将心脏搏动期的胚胎暴露于低氧环境(0.16 mg/L)中,以心博徐缓强度来记录胚胎的生理反映,每次实验只用一粒受精卵.

研究结果表明,大弹涂鱼胚胎的耗氧率随着发育进程而增加,原肠期检测到最低耗氧率(0.79 ± 0.08)/ $\text{ind}\cdot\text{h}$ 而后耗氧率显著($p<0.01$)增加,至血液循环开始时达到(2.25 ± 0.09)/ $\text{ind}\cdot\text{h}$,接着耗氧率逐渐上升,孵化期达到(2.69 ± 0.23)/ $\text{ind}\cdot\text{h}$.大弹涂鱼胚胎暴露于低氧环境后,前 30 min 心博徐缓值迅速上升,接着 $30\sim 65\text{ min}$ 内缓慢上升, 65 min 以后又迅速上升,连续暴露 90 min 后胚胎死亡^[52].

4.2 成鱼

选取性腺发育至第4期个体为实验材料,采用流水密闭式装置测定耗氧率,水中溶解氧含量以Winkler氏法测定,二氧化碳含量用氢氧化钠滴定.实验水温 $22.0\sim 23.4^\circ\text{C}$.

大弹涂鱼成鱼白天($06:00\sim 17:00$)的耗氧率为($0.127\times 10^{-3}\sim 0.217\times 10^{-3}$)/ h ,12 h内平均耗氧率为(0.169×10^{-3})/ h ;夜间($18:00\sim 05:00$)的耗氧率为($0.123\times 10^{-3}\sim 0.241\times 10^{-3}$)/ h ,12 h内平均耗氧率为(0.181×10^{-3})/ h .表明夜间大弹涂鱼成鱼的耗氧率略高于白天.在密闭式的环境中,当海水溶解氧含量降至 $1.44\sim 2.00\text{ mg/L}$ 时出现浮头现象,随着溶解氧含量继续减少,呼吸频率从正常的 $60\sim 80$ 次/ min 下降至 20 次/ min ,鱼体失去平衡,游动缓慢;当溶解氧含量降至 0.16 mg/L 时,窒息死亡.在敞开式的环境中,当海水溶解氧含量降至 $0.64\sim 0.72\text{ mg/L}$ 时出现浮头现象,鱼体窒息死亡时溶解氧含量为 $0.08\sim 0.16\text{ mg/L}$ ^[23].

5 幼鱼和成鱼食性

大弹涂鱼消化道可区分为口咽腔、食道、贲门胃、幽门胃、小肠和直肠.消化管组织包括粘膜层、粘膜下层、肌肉层和浆膜层.大弹涂鱼所摄食的食物有硅藻、

蓝藻、甲藻、线虫、轮虫、原生动物、有机碎屑、沙泥、纤维和骨针等 10 个类群, 其中生物类群至少有 94 种. 就个数百分比看, 除了 1990 年 5 月蓝藻 (92.6%) 占优势外, 其余各月均以硅藻为主. 在生物类群中, 硅藻个数百分比为 43.5%, 居首位, 蓝藻次之 (10.6%), 其余种类均小于 0.1%. 在非生物类群中, 以沙泥的个数百分比 (25.1%) 为最高, 其次是有机碎屑 (17.7%). 就出现频率百分组成看, 生物类群中硅藻最为重要 (17.3%), 其次是蓝藻 (10.3%), 而线虫 (5.1%)、轮虫 (0.2%)、原生动物 (0.2%) 和甲藻 (0.1%) 出现频率较低. 非生物类群中的有机碎屑 (17.3%) 和沙泥 (17.4%) 的出现频率较高. 从食物组成分析结果可以看出, 野生大弹涂鱼幼鱼和成鱼以底栖硅藻和颗粒有机碎屑为主食^[17].

大弹涂鱼胃饱满系数的季节变化明显, 夏季为最高 (14.4%), 冬季为最低 (1.3%). 雌鱼胃饱满系数的季节变化: 夏季 (19.1%) > 春季 (5.4%) > 秋季 (2.7%) > 冬季 (1.3%); 雄鱼胃饱满系数的季节变化: 夏季 (11.1%) > 秋季 (3.8%) > 春季 (2.6%) > 冬季 (1.2%). 大弹涂鱼摄食率的季节变化: 夏季 (88.7%) > 秋季 (77.2%) > 春季 (74.7%) > 冬季 (70.6%). 其中 8 月摄食率最高 (97.1%), 12 月最低 (59.4%)^[17].

6 消化酶

6.1 仔稚鱼和早期幼鱼消化酶活性

实验材料采自育苗土池中同一孵化批次的大弹涂鱼前期仔鱼、后期仔鱼、稚鱼和早期幼鱼. 前期仔鱼、后期仔鱼、稚鱼和早期幼鱼分别以 1 500、1 000、250 和 60 尾为一个样品, 每个样品设 6 个平行组. 采用酶学分析的方法, 研究了大弹涂鱼前期仔鱼、后期仔鱼、稚鱼和早期幼鱼发育过程中胰腺酶、肠酶和胃蛋白酶活性的变化.

研究结果表明, (1) 4 种胰腺酶 (淀粉酶、胰蛋白酶、糜蛋白酶和羧肽酶 A) 和 8 种肠酶 (麦芽糖酶、蔗糖酶、乳糖酶、海藻糖酶、纤维二糖酶、碱性磷酸酶、氨基肽酶和 γ -谷氨酰转肽酶) 的比活力均在仔鱼期较高, 稚鱼期降至最低, 早期幼鱼则急剧上升, 而每尾鱼酶的总活力却随着幼体的发育而逐渐增加; (2) 胃蛋白酶活性在后期仔鱼才开始检测到, 此后一直呈显著上升趋势; (3) 早期幼鱼肠部位的 4 种胰腺酶活性分别占其酶总活性的百分比均极显著高于稚鱼期; (4) 稚鱼期仅 3 种肠酶 (麦芽糖酶、纤维二糖酶和 γ -谷氨酰转肽酶) 高度富积在肠刷状缘膜上, 而早期幼鱼除蔗糖酶外的 7 种肠酶在肠刷状缘膜上的富积系数均大

于 5.1. 由此得出结论, (1) 在仔鱼期, 蛋白质的消化是依靠胰腺酶进行的, 进入稚鱼期, 胃蛋白酶开始对蛋白质的消化起重要作用; (2) 在早期幼鱼, 胰腺分泌机制及肠细胞已完全成熟, 标志着成鱼的消化模式的形成.

6.2 成鱼消化酶活性

解剖活鱼, 分离胃、肝脏和肠道, 将肠道从前部到后部切成三等份, 分别称为肠₁、肠₂和肠₃. 采用酶学分析的方法, 研究了 pH 对 15 种消化酶活性在胃、肝脏和肠道中的分布. 研究结果表明, (1) 胃的蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶的最适 pH 分别为 2.5~3.5、6.5 和 5.5, 肠道的蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶的最适 pH 分别为 9.5、7.5 和 6.0~7.5, 肠道的胰蛋白酶和糜蛋白酶的最适 pH 分别为 7.5 和 8.0. (2) 除胃的酸性蛋白酶和碱性磷酸酶外, 胃和肝脏的各种消化酶活性均显著低于肠道 ($p < 0.05$). (3) 肠₁和肠₂的胰蛋白酶和糜蛋白酶活性均显著高于肠₃ ($p < 0.05$), 肠₁的羧肽酶 A 活性显著高于肠₂和肠₃ ($p < 0.05$), 肠₁的氨基肽酶、 γ -谷氨酰转肽酶和碱性磷酸酶等 3 种与营养物质吸收有关的消化酶活性均显著高于肠₂和肠₃ ($p < 0.05$), 3 段肠的脂肪酶活性无显著差异 ($p > 0.05$). (4) 肠₁的淀粉酶和纤维素酶活性均显著高于肠₂和肠₃ ($p < 0.05$); 肠₁的麦芽糖酶、蔗糖酶、乳糖酶、海藻糖酶和纤维二糖酶等 5 种二糖酶活性均显著高于肠₂和肠₃ ($p < 0.05$). 由此表明, (1) 大弹涂鱼胃在食物的消化过程中不起重要作用, 但胃仍具有吸收功能; (2) 肠₁是消化淀粉的主要部位, 肠₁是二糖消化和吸收的主要部位, 肠₁是蛋白质、脂类和无机盐等营养吸收的主要部位.

7 苯并(a)芘 (BaP) 对大弹涂鱼的毒性效应研究

实验鱼先在清洁海水中暂养 3 d. BaP 对大弹涂鱼肝脏 DNA 的损伤、对肝脏谷胱甘肽过氧化物酶活性的影响以及对肝脏芳烃羟化酶活性的影响实验的暴露浓度均设置为 0.05、0.20 和 0.50 mg/L 3 个不同梯度组; BaP 对大弹涂鱼肝脏抗氧化防御系统影响实验的暴露浓度为 30 μ g/L. 实验容器为直径 30~50 cm, 高 50 cm 的陶瓷缸, 每缸盛海水体积 20~40 L. 每组设两个平行样. 主要研究结果如下: (1) 碱解旋技术检测结果表明, 大弹涂鱼暴露于 BaP 后, 肝脏的 DNA 单链断裂程度同时受到曝污时间和曝污浓度的影响, 并具有一定的时间-效应和剂量-效应特征; 污染解除后 DNA 单链断裂程度未明显减轻, 表明 DNA 损伤的修复能力

较弱^[29]。(2)大弹涂鱼暴露于 0.50 mg/L 的 BaP 溶液中 1 周后,随暴露时间的延长,肝脏谷胱甘肽过氧化物酶(GPx)活性被显著抑制($p \leq 0.05$);暴露 3 d 随 BaP 浓度的增加,GPx 活性显著降低($p \leq 0.05$),表明高剂量的 BaP 可对其肝脏产生毒性作用。将大弹涂鱼暴露于 0.50 mg/L 的 BaP 3 d,再转入清洁海水中 4 d 其肝脏 GPx 活性可恢复至对照组水平,表明其肝脏仍具有较强的生理调节机能^[31]。(3) BaP 对大弹涂鱼肝脏芳烃羟化酶(AHH)活性总体表现为显著的诱导作用($p < 0.01$),其中 BaP 暴露的浓度及时间是影响 AHH 活性的重要因素。0.05 mg/L 浓度的 BaP 暴露对 AHH 活性无显著影响,而 0.2 mg/L 和 0.5 mg/L 浓度组 AHH 活性则显著被诱导($p < 0.01$)。随着暴露时间的延长,0.2 mg/L 浓度组 AHH 活性被显著诱导($p < 0.01$),而 0.5 mg/L 组 AHH 活性则相对稳定^[32]。(4) BaP 暴露对大弹涂鱼肝脏超氧化物歧化酶(SOD)活性表现为明显的诱导效应,第 3 天和第 5 天分别为对照组的 1.72 倍和 1.3 倍,单因素方差分析的结果表明差异显著($p \leq 0.05$)。BaP 暴露第 1 天肝脏还原型谷胱甘肽(GSH)含量增至最高,增加了约 67%,之后 GSH 含量逐渐减少,第 5 天时降至与对照组相当的水平。BaP 暴露前 5 天,大弹涂鱼肝脏丙二醛(MDA)浓度无明显变化,但在第 7 天显著升高,为对照组的 1.91 倍^[30]。

8 人工繁殖和育苗

1986 年在厦门大学海滨实验室开始了大弹涂鱼繁殖生物学和室内育苗研究,当年利用潮间带的亲鱼经性激素催产后人工授精,培育出 3 000 多尾达到放养规格的苗种,初步掌握了仔稚鱼各发育阶段的系列饵料^[5];1987~1988 年继续室内育苗试验,又培育 4 000 多尾苗种^[9];1990 年与中国水产科学院东海水产研究所合作在福建省连江县水产综合场进行育苗中间试验,培育出 7 381 尾苗种,放养到连江县坑园乡虾池,与长毛对虾混养,生长发育良好^[18];1999 年与福建省福清市过桥山垦区大弹涂鱼育苗场合作,使用池养亲鱼经性激素催产后进行人工授精或用陶瓷人工管道诱导产卵^[33],在受精卵的孵化技术方面取得突破^[28];2003~2006 年与福建省霞浦县水产技术推广站等单位合作,在福建省霞浦县开展大弹涂鱼室内外生产性育苗和成鱼养殖技术研究^[42,45-48,51],采取了较合理的技术路线,在室内培育出苗种 3 万多尾,室外培育出苗种 240 多万尾,室内外育苗均取得突破性进展。

8.1 室内水泥池育苗

1986~1988 年室内水泥池育苗的亲鱼以 HCG 和

IHRH-A 激素催产亲鱼,雌鱼催产率达到 83.3%^[5-9]。采用半干法人工授精获得受精卵,孵化率 60~80%。仔稚鱼培育在水泥池中进行,早期投喂颗粒有机碎屑、小球藻(*Chlorella vulgaris*)、褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*),后期投喂桡足类及其幼体(主要是双齿许水蚤 *Schmackeria dubia*)和卤虫(*Artemia salina*)无节幼体。育苗最高成活率达到 42.04%^[9]。

1990 年室内水泥池育苗的亲鱼采自福建省连江县马鼻乡潮间带滩涂。性腺未成熟的亲鱼进行短期暂养,性腺发育至 4~5 期的亲鱼用于催产后人工授精或以不同规格的陶瓷管道诱导产卵。催产率 47%~88%,受精率 50%~71%,共获得受精卵 21 万多粒。陶瓷管道共产卵 12 次,产卵总数 2.9 万粒,受精率最高达到 90%~100%。人工受精卵粘附在筛绢网片上后放入网箱内孵化,陶瓷管道受精卵直接置于水泥池中孵化,共孵化出仔鱼 12.5 万尾,平均孵化率 51.8%。仔鱼移入水泥池中培育,仔鱼的饵料系列为小藻、有机碎屑、S 型轮虫、桡足类、卤虫无节幼体。育苗成活率可达 30.2%~41.4%^[18]。

1999 年在福建省福清市过桥山垦区开展大弹涂鱼室内外育苗,使用养殖亲鱼,采用陶瓷管道诱导产卵、塑料桶和网箱孵化受精卵。水泥产卵池面积 360 m²(长 15.0 m×宽 2.40 m),水位 25~35 cm,每口产卵池放置 90~120 个陶瓷管道(长 50 cm,出入口直径 5 cm),池上方覆盖遮阳网。亲鱼以性激素(HCG 和 IHRH-A₃ 单独或混合使用)催熟后放入产卵池,每个产卵池亲鱼的对数与陶瓷管道的个数相当。亲鱼入池后第 3 天开始产卵,多数受精卵粘附在陶瓷管道的内壁,少数粘附在池底和池壁,共获得 25 万多粒受精卵。池中陶瓷管道的产卵率最高可达到 55.6%,最低仅为 1%,这种情况与亲鱼的性腺成熟度和健康情况有关。陶瓷管道内壁受精卵的孵化率高(66.7%~89.0%),池底和池壁受精卵的孵化率低(4.0%~11.0%)^[33]。繁育实验比较了不同的孵化方式对受精卵孵化率的影响,结果表明,无论是人工受精卵或是陶瓷管道内的受精卵,在塑料桶(20 L)内的孵化率均高于网箱(长 95 cm×宽 55 cm×高 50 cm)内的孵化率^[28]。将孵化后 2~3 d 的仔鱼移入室外土池(1 000 m²)培育,施肥培育生物饵料,以气石微弱充气。但由于土池内的脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)大量繁殖,吞噬仔鱼,导致育苗成活率低。

2004 年室内育苗在福建省霞浦县水产技术推广站江试验场进行。亲鱼取自霞浦县长沙村养殖池塘和潮间带围网养殖滩涂。混合或单独注射 LHRH-A₃ 和 HCG 催熟,两次注射间隔 36~48 h,雌雄亲鱼同等剂

量. 以陶瓷管道诱导产卵和人工授精方法获得受精卵. 产卵池 3 口, 面积 26 m^2 /口, 池深 1.5 m, 诱导产卵期间产卵池面用遮阳网遮盖, 保持黑暗环境, 产卵池水温 $24 \sim 26 \text{ }^\circ\text{C}$, 盐度 $18.0 \sim 23.3$ 微充气, 采用塑料箱和塑料桶两种容器孵化受精卵. 育苗池 14 口, 池深 1.2 m, 池底铺 5~10 cm 海泥. 将孵化后 1~2 日龄仔鱼移入育苗池, 池水中添加小球藻 (*Chlorella vulgaris*), 密度保持在 $(25 \times 10^{-4} \sim 50 \times 10^{-4})$ /mL, 使育苗水呈淡绿色. 孵化后 2 日龄开始投喂海泥浆 (含有机碎屑), 每天投喂海泥浆 4 次 (06:00 11:00 15:00 18:00), 保持池水透明度 20~30 cm, 以后投喂 L 型褶皱臂尾轮虫 (*Brachionus plicatilis*), 桡足类、卤虫 (*Artemia salina*) 无节幼体和底栖硅藻, 育苗池水轮虫密度为 3~10 ind/mL, 桡足类和卤虫无节幼体为 1~3 ind/mL, 卤虫无节幼体投喂前经营养强化 (50DE-微囊) 6 h 研究表明, 雌鱼的催熟率为 40.0%~65.0%, 陶瓷管道产卵率为 10.0%~26.0%, 管道内卵子的平均受精率为 60%~75%, 人工授精卵的平均受精率为 45.0%~65.0%, 管道内卵子在塑料箱内的孵化率为 17.8%~28.0%, 人工授精卵在塑料桶内的孵化率为 38.5%~57.0%. 共投放初孵仔鱼 26.4 万尾, 经 42~46 d 培育变态为幼鱼, 共培育出幼鱼 3.11 万尾, 幼鱼平均全长 1.89 cm, 平均成活率为 11.78%^[47].

8.2 室外土池生态育苗

2004~2006 年室外土池育苗在福建省霞浦县长沙村进行^[48,50]. 每口育苗池面积为 $800 \sim 1\,200 \text{ m}^2$, 有淡水来源, 池深 80~100 cm. 亲鱼放养前先清池消毒, 放养密度 2~3 尾/ m^2 , 雌雄性比为 1:1. 亲鱼分批次在产卵育苗池洞穴内产卵孵化, 产卵日期与潮汐相关, 一般在小潮水到临近大潮水期间产卵.

仔、稚和早期幼鱼均在产卵育苗池中培育. 先将小球藻和褶皱臂尾轮虫引入池中. 少量多次施放复合肥和鱼浆, 培养池中的桡足类. 大弹涂鱼仔鱼除了依靠吸收卵黄和油球为营养外, 还从土池中摄食含有拟铃虫的颗粒有机碎屑、桡足类无节幼体以及少量的贝类 (双壳类和腹足类) 担轮幼体、面盘幼体和多毛类担

轮幼体. 后期仔鱼摄食桡足类无节幼体、桡足类幼体、拟铃虫、多毛类担轮幼体、蒙古裸腹蚤幼体和腹足类幼体. 稚鱼期主要摄食桡足类幼体和成体、多毛类幼体和蒙古裸腹蚤成体. 早期幼鱼转食底栖硅藻和颗粒有机碎屑. 育苗期间水位保持 60~80 cm, 引入淡水将池水盐度调节至 $15 \sim 20$. 高温时池上方用遮阴网遮盖, 使水温不超过 32°C . 不同批次的仔、稚、早期幼鱼和亲鱼在同一口池中不会出现互相残食现象, 不必分批培育. 如果发现池水富营养化而引起溶解氧过饱和, 要及时开启水车式增氧机, 避免仔鱼发生气鳔膨胀而引起死亡. 大弹涂鱼土池生态育苗具有投资少, 操作简便, 有利于批量生产, 适合在我国东南沿海推广应用. 3 年内 (2004~2006) 大弹涂鱼土池育苗结果见表 2.

经过多年的理论研究和育苗实践, 总结了大弹涂鱼室内、外人工育苗技术路线 (图 1), 并在批量育苗生产中推广.

9 成鱼养殖技术

9.1 养殖场地选择和养殖池的建造

2004~2006 年在福建省霞浦县长沙村进行大弹涂鱼成鱼养殖技术研究^[46]. 养殖池塘为粉砂质粘土结构, 土壤的保水性能强, 泥深 0.5~1.0 m, 池底高于低潮线且平坦, 方便进排水、晒坪施肥培育底栖硅藻. 养殖池塘水源充足, 水质良好, 无污染源, 常年有适量淡水注入, 海水比重适宜, 营养盐丰富. 每口池塘最大面积 0.27 hm^2 , 最小面积 $5.3 \times 10^2 \text{ hm}^2$, 一般在 0.10 hm^2 左右. 池塘面积大小适宜, 养殖管理方便, 容易一次性投足苗种. 每口池塘建有进排水闸门各一座, 整平养殖池塘池底 (坪面), 不留环沟, 养殖池塘四周加一道围网以防大弹涂鱼逃逸和敌害生物入侵, 在离池底约 2 m 高处架设网目为 10 cm 的尼龙网, 以防鸟类啄食大弹涂鱼.

9.2 清池消毒

养殖池在放苗前以 400 mg/L 的生石灰和 50 mg/L 的漂白粉 (有效氯 32%) 对池塘进行清池消毒, 以清

表 2 大弹涂鱼土池育苗结果 (2004~2006 年)

Tab. 2 Results of larval rearing of *B. pectinirostris* (2004~2006a)

年度	土池面积 m^2	亲鱼 尾	亲鱼密度 (尾/ m^2)	受精率 %	仔鱼 万尾	幼鱼数量 万尾	平均全长 mm	成活率 %
2004	3335	11000	3.3	96~99	330	34.4	22.8	10.4
2005	6400	16520	2.6	95~98	850	122.6	26.6	14.4
2006	3335	6680	2.0	90~95	550	83.3	33.4	15.1
合计	13070	34200			1730	240.3		

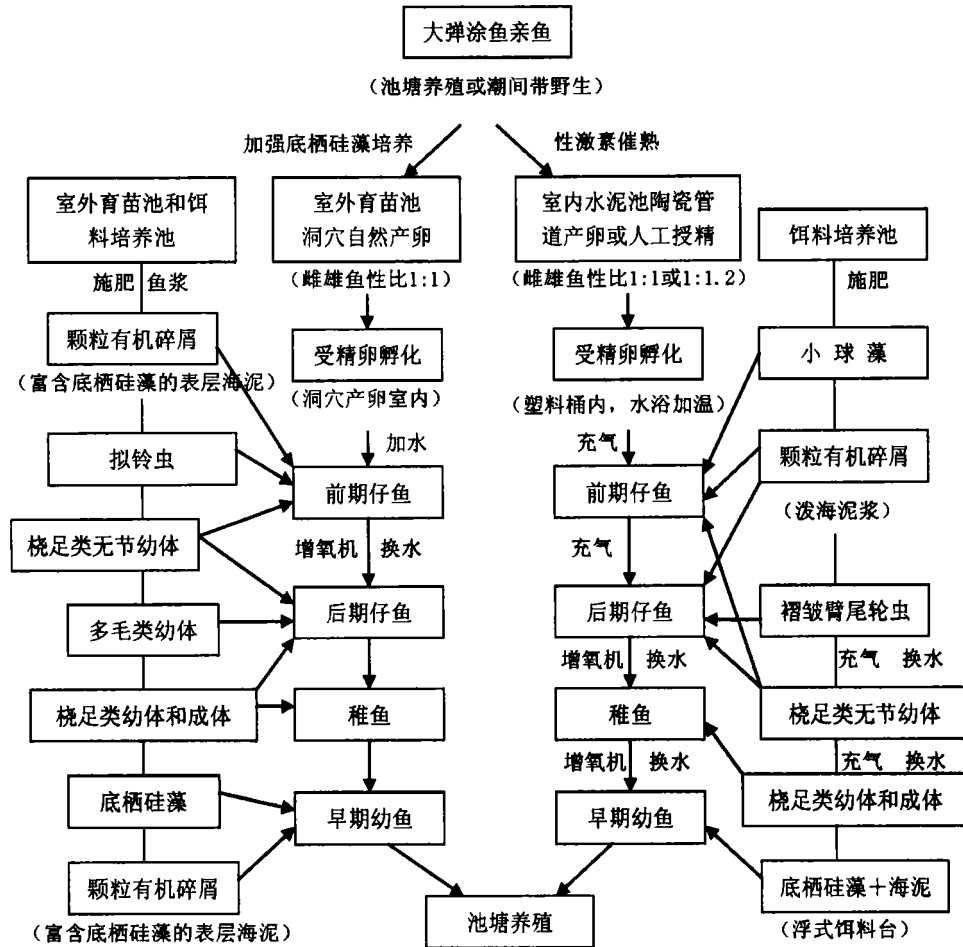


图 1 大弹涂鱼室内、外人工育苗工艺流程图

Fig 1 Technology of indoor and outdoor larval rearing of *B. pectinirostris*

除敌害生物和致病菌。清池消毒工作在晴天进行。

9.3 饵料生物培养

养殖池塘经清池消毒 7 d 后排干池水, 连续晒坪, 直至池底呈龟裂状, 然后均匀施放米糠 (50 g/m^2) 和复合硅藻类营养剂 (2 mg/L , 厦门强生科技有限公司产品), 或施放有机肥 (猪、牛、鸡粪等, $1500 \sim 3000 \text{ kg/m}^2$) 作基肥, 进水 $5 \sim 10 \text{ cm}$ (60 目筛绢网过滤) 培养底栖硅藻, 当池底表层形成一层黄褐色的藻床时开始投放鱼苗。

9.4 苗种放养

养殖苗种主要采自福建省霞浦县福宁湾潮间带滩涂的天然苗, 也有购自珠江口捕捞的苗种, 大多数苗种规格为全长 $2.5 \sim 3.5 \text{ cm}$, 少数为 $4.5 \sim 6.0 \text{ cm}$ 。条件好的养殖池塘放苗密度高, 条件差的养殖池塘放苗密度低, 规格小的苗种放养密度高, 规格大的苗种放养密度低。每公顷放养苗种数量在 $45000 \sim 120000$ 尾之间。大部分养殖池塘在 $3 \sim 5 \text{ d}$ 内放足同一规格的苗种, 少部分养殖池塘分批放苗。放苗期集中在 6 月下旬至 7 月上旬, 少数在 9~10 月, 放苗时间选择在晚上或阴天进行。

旬至 7 月上旬, 少数在 9~10 月, 放苗时间选择在晚上或阴天进行。

9.5 养殖管理

9.5.1 施肥晒坪

苗种放养后, 大弹涂鱼开始摄食池内的底栖硅藻。为了保持池内有足够的底栖硅藻供大弹涂鱼摄食, 养殖过程中定期晒坪施肥培养底栖硅藻。晒坪施肥的频率根据个体摄食量的大小、活动状况、水温高低、气候条件以及池内底栖硅藻数量的多少而定。4~11 月水温适宜, 是大弹涂鱼生长最佳时期, 摄食量增加, 每隔 $15 \sim 20 \text{ d}$ 晒坪施肥 1 次; 12~3 月水温低, 大弹涂鱼大部分时间栖息于洞穴内, 1~2 个月晒坪施肥 1 次。施肥前先排放池水, 然后投放米糠 ($300 \sim 450 \text{ kg/m}^2$) 或小杂鱼虾 ($0.075 \text{ kg/m}^2/\text{次}$), 晒坪 $3 \sim 5 \text{ d}$ 进水 $5 \sim 10 \text{ cm}$ (用 60 目筛绢网过滤) 培养底栖硅藻。施肥晒坪选择在晴天或多云时进行, 有利于底栖硅藻生长。

9.5.2 盐度调节

大弹涂鱼生活于河口潮间带滩涂, 咸淡水有利于

其生长。养殖期间盐度控制在 10~20 夏秋季雨量少时, 养殖池添加淡水; 春季雨量多时养殖池适当补充海水。为了有效地培养底栖硅藻, 养殖池水位一般保持在 5~10 cm。

9.5.3 病敌害防治

在 3 年的大弹涂鱼养殖过程中, 尚未发现有细菌或病毒引起的病害。有少数大弹涂鱼体表被福清热蛭 (*Aestabdelta fugingensis*) 吸附着。大弹涂鱼在养殖过程中主要敌害有肉食性鱼类, 常见的有斑纹舌鰕虎鱼 (*Glossogobius olivaceus*)、斑尾复鰕虎鱼 (*Synechogobius*

ammaturus)、虾类 (如脊尾白虾)、蟹类 (如伍氏厚蟹、四齿大额蟹和弧边招潮蟹等) 和鸟类 (如白鹭) 等。鱼类和虾类并不与大弹涂鱼争夺食物, 而是与其争夺生存空间; 蟹类会在养殖池内和堤坝上打洞穴居, 破坏堤坝; 鸟类会直接啄食大弹涂鱼。有时池塘还出现浒苔, 吸收池中的营养盐, 影响底栖硅藻的繁殖。养殖池中的珠带拟蟹守螺、彩拟蟹守螺和半褶织纹螺与大弹涂鱼争食底栖硅藻。

对于养殖池出现的鱼、虾、蟹类等敌害生物, 采用放网捕捞方法以减少其数量, 并在进水时采用细网目

表 3 大弹涂鱼成鱼养殖结果 (2004~2006 年)
Tab 3 Results of pond culture of *B. pectinirostris* (2004~2006 a)

年度	面积 hm ²	苗种规格 cm	平均放养密度 (尾 /hm ²)	平均产量 (kg /hm ²)	平均全长 cm	平均体重 g	平均成活率 %
2004~2005	9	2.5~3.5, 4.5~6.0	4400	1028	14.2	19.8	89.0
2005~2006	26	2.5~3.5, 4.5~5.0	4500	975	13.6	17.1	82.0

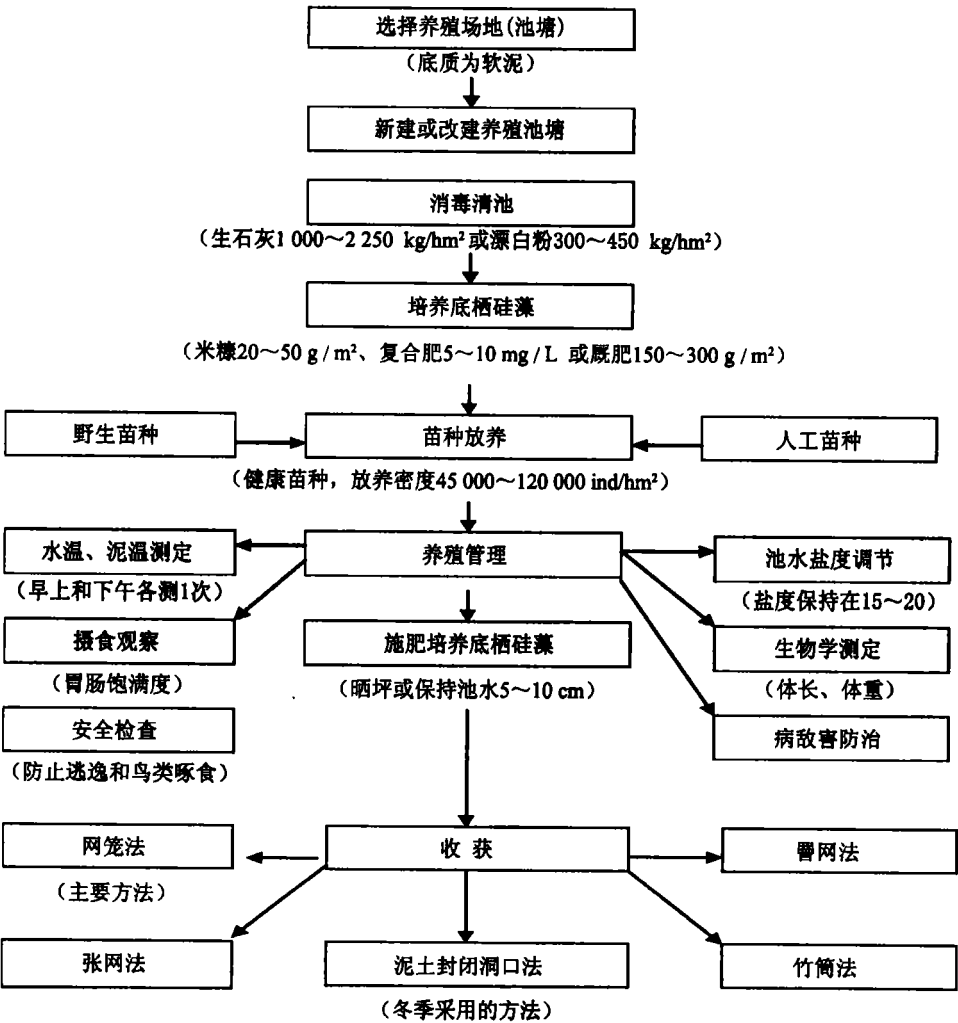


图 2 大弹涂鱼规范化养殖操作管理规程

Fig 2 Standard technology of *B. pectinirostris* culture in pond

(100~120目)筛绢过滤,以防其幼体和卵子进入养殖池。成鱼体表吸附的少量福清热蛭,在收获时用淡水浸泡2~3h,虫体自然脱落。

9.5.4 摄食和生长

养殖期间,取样分析大弹涂鱼的摄食情况,并进行生物学测定。结果表明,大弹涂鱼在池塘中主要摄食养殖池中的底栖硅藻和有机碎屑,还兼食蓝藻、原生动物(如拟铃虫)、线虫和轮虫等。底栖硅藻主要是舟形藻(*Navicula*)、菱形藻(*Nitzschia*)、布纹藻(*Cyrosigma*)、圆筛藻(*Coscinodiscus*)和斜纹藻(*Pleurosigma*)。

9.6 收获

放养大规模的苗种,养殖6~8个月就可收成;放养小规模苗种,需要养殖1年或1年半才能达到商品鱼规格。大弹涂鱼的收获常采用捕大留小的方式。收捕方式有网笼法、张网法、罾网法、竹筒法和泥土封闭洞口等。网笼法收捕的成鱼总量占总产量的60%~70%。冬季春节期间,大弹涂鱼的市场价格高,但由于温度低,成鱼很少出洞,此时采用泥土封闭洞口的方法进行收捕,效果很好。

2004~2006年成鱼养殖结果见表3。经过3年养殖的探索,总结了大弹涂鱼规范化养殖操作管理规程(图2)。该规程已在福建省宁德市沿海推广应用,取得了明显的经济、生态和社会效益。

10 展望

今后拟进一步开展大弹涂鱼的生殖生理、幼体实验生态、遗传多样性和育种等方面的研究。在深入基础理论研究的同时,加强应用研究。

虽然已查明大弹涂鱼生殖周期与潮汐变化的关系紧密,并已明确其在洞穴内产卵习性^[49],但对其机理的认识仍然粗浅,需要对环境变化如何引起神经内分泌响应过程以及性信息素调控生殖行为进行深入研究,内容包括测定产卵周期脑垂体GH的形成与分泌,分析其含量变化规律与产卵周期的对应关系;测定生殖器官(卵巢、精巢、贮精囊)中性信息素的种类及其化学成分;测定鱼体嗅觉感受器对各种性信息素反应的阈值;应用免疫细胞化学对嗅觉感受细胞中的信息素特异性受体的定位研究;将性信息素应用于诱导亲鱼的产卵排精,增强亲鱼的生殖效应,以提高其产卵量和受精率。

大弹涂鱼人工繁育已取得成功,并查明了幼体各生长发育阶段的食性^[6,15,16,20,45,47,48],但对幼体适宜的环境条件尚缺乏全面理解。为了提高育苗成活率,今后拟开展幼体对温度、盐度和底质选择实验,以掌握大弹涂鱼

幼体对这3种生态因子的最佳适应范围,为大弹涂鱼苗种生产提供科学依据。在土池育苗过程中,大弹涂鱼仔鱼经常出现气鳔膨胀而大批量死亡,此时水中溶解氧的含量可高达14mg/L。气鳔膨胀是否与水中含氧量高有关,或受其他生态因子的综合影响,或是其自身在发育过程中的生理现象,其机理有待研究。

大弹涂鱼地理分布范围较广,存在不同的地理种群,其遗传多样性值得研究。金春华等(2004)研究了浙江宁海三门湾大弹涂鱼自然种群的遗传多样性^[53,54],但国内其他的资料尚缺乏,应该开展大弹涂鱼地理种群鉴别及其遗传多样性研究,而且还可以开展国际学术交流与合作,获得其他国家和地区大弹涂鱼的遗传背景资料。此外,还有必要探讨不同地理种群大弹涂鱼群体的形态性状和经济性状(生长和抗性等)。选取具有优势性状和遗传多样性高的群体,开展不同地理种群的种内杂交和选育,获得杂交优势种,为我国的大弹涂鱼养殖提供新品种。

参考文献:

- [1] 王军,苏永全.三种弹涂鱼的生化组成及能值分析[J].厦门大学学报:自然科学版,1994,33(1):96-99.
- [2] 廖一久.台湾省水产试验所东港分所简介[J].中国水产(台湾),1996,398:23-27.
- [3] 蔡泽平.大弹涂鱼生物学及养殖[J].南海研究与开发,1988(1):77-80.
- [4] 林叔森,方家仲.大弹涂鱼 *Boleophthalmus pectinirostris* (Linnaeus) 养殖技术研究[J].浙江水产学院学报,1995,14(2):96-104.
- [5] 张其永,洪万树,戴庆年,等.大弹涂鱼人工繁殖和仔稚鱼培育研究[J].厦门大学学报:自然科学版,1987,26(3):366-373.
- [6] 张其永,张杰.大弹涂鱼仔鱼的摄食、生长和成活的研究[J].水产学报,1988,12(3):203-211.
- [7] 张其永,吴慧端.婆罗异剑水蚤的培养试验[J].水产科学,1988,7(1):9-11.
- [8] 洪万树,戴庆年,张其永,等.大弹涂鱼的早期发育研究[J].热带海洋,1988,7(2):1-8.
- [9] Zhang Q Y, Hong W S, Dai Q N, et al. Studies on induced ovulation, embryonic development and larval rearing of the mudskipper (*Boleophthalmus pectinirostris*) [J]. Aquaculture, 1989, 83(3/4): 375-385.
- [10] 张其永,林育庆.美丽斜纹藻的碎屑形成过程[J].海洋科学,1990(1):46-49.
- [11] 张其永,沈曙光,张文胜.大弹涂鱼的年龄、生长和生殖力研究[J].水产学报,1990,14(3):179-188.
- [12] 颜开强,张其永.大弹涂鱼仔、稚、幼鱼的发育阶段[J].厦门大学学报:自然科学版,1990,29(1):76-80.

- [13] 谢湘筠, 张其永. 大弹涂鱼雌性性腺发育研究 [J]. 台湾海峡, 1990, 9(3): 217-221
- [14] 张其永, 洪万树. 大弹涂鱼资源增殖研究 [J]. 海洋科学, 1991(6): 19-21.
- [15] 张其永, 张杰. 养殖条件下大弹涂鱼仔鱼的存活和开口摄食的研究 [C] //第四次中国海洋湖沼科学会议论文集. 北京: 科学出版社, 1991: 206-211
- [16] 颜开强, 张其永. 大弹涂鱼仔、稚、幼鱼消化系统的发育及其食性的研究 [J]. 海洋学报, 1991, 13(2): 240-246
- [17] 朱友芳, 张其永. 九龙江口潮间带大弹涂鱼食性及其消化管组织结构 [J]. 台湾海峡, 1993, 12(3): 225-232
- [18] 倪勇, 张其永, 陈德富, 等. 大弹涂鱼人工育苗技术研究 [J]. 海洋渔业, 1993, 15(2): 56-62
- [19] 戴庆年, 张其永, 胡建兴. 大弹涂鱼孵化率研究 [J]. 福建水产, 1993(2): 1-3
- [20] 张其永, 洪万树. 大弹涂鱼人工繁殖与养成研究- 大弹涂鱼生物学特性 [J]. 福建水产, 1995(4): 1-6
- [21] 张其永, 洪万树. 大弹涂鱼人工繁殖与养成研究- 大弹涂鱼人工繁殖与养殖技术 [J]. 福建水产, 1995(4): 7-11
- [22] 倪子绵, 张其永, 洪万树. 大弹涂鱼卵细胞发育的显微和超微结构 [J]. 台湾海峡, 1995, 14(2): 163-168
- [23] 戴庆年, 张其永, 黄兰芳. 大弹涂鱼耗氧率研究 [J]. 海洋学报, 1996, 18(1): 131-133
- [24] 洪万树, 张其永, 周东晨. 四种海产经济鱼类精子的生理特性和环境因子的关系 [J]. 海洋科学, 1997(3): 64-65
- [25] 洪万树, 张其永, 周东晨. 黑鲷和大弹涂鱼精液短期冷冻保存 [J]. 海洋科学, 1997(4): 6-8
- [26] 洪万树, 张其永. 大弹涂鱼规模化养殖技术 [J]. 水产养殖, 1999(5): 8-9
- [27] 洪万树, 张其永. 大弹涂鱼寄生蛭治疗实验研究 [J]. 水产科学, 2000, 19(2): 7-10
- [28] 洪万树, 张其永, 黄富钦. 大弹涂鱼受精卵孵化技术 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2000, 39(2): 241-246
- [29] 冯涛, 郑微云, 洪万树, 等. 苯并(a)芘对大弹涂鱼肝脏DNA损伤的研究 [J]. 水产学报, 2000, 24(4): 359-363
- [30] 冯涛, 郑微云, 洪万树, 等. 苯并(a)芘对大弹涂鱼肝脏抗氧化防御系统影响的初步研究 [J]. 海洋科学, 2000, 24(5): 27-30
- [31] 冯涛, 郑微云, 洪万树, 等. 苯并(a)芘对大弹涂鱼肝脏谷胱甘肽过氧化物酶活性的影响 [J]. 中国水产科学, 2001, 7(4): 19-21
- [32] 冯涛, 郑微云, 洪万树, 等. 苯并(a)芘对大弹涂鱼肝脏芳烃羟化酶活性的影响 [J]. 水产学报, 2001, 25(2): 156-160
- [33] 洪万树, 张其永, 王明雄, 等. 人工管道诱导大弹涂鱼产卵研究 [J]. 热带海洋学报, 2001, 20(3): 75-80
- [34] 张其永, 洪万树. 简明中国水产养殖百科全书 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [35] 蒙子宁, 洪万树, 王清池, 等. 超声波对4种海水鱼类受精卵孵化的影响 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2001, 40(3): 832-834
- [36] 赵卫红, 洪万树, 吴鼎勋, 等. 性外激素诱导大弹涂鱼成熟和产卵 [J]. 台湾海峡, 2002, 21(3): 284-291.
- [37] Hong W S, Zhang Q Y. Artificial propagation and breeding of marine fish in China [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2002, 20(1): 41-51
- [38] Zhao W H, Hong W S, Zhang Q Y, et al. Induced maturation and spawning by sex pheromones in female mudskipper (*Boleophthalmus pectinirostris*) [J]. Marine Science Bulletin, 2003, 5(2): 87-95
- [39] 张其永, 洪万树. 大弹涂鱼养殖技术和人工育苗研究进展 [J]. 齐鲁渔业, 2003, 20(4): 1-4
- [40] Hong W S, Zhang Q Y. Review of captive bred species and fry production of marine fish in China [J]. Aquaculture, 2003, 227: 305-318
- [41] Hong W S, Zhang Q Y. Induced nest spawning and artificial hatching of the fertilized eggs of mudskipper *Boleophthalmus pectinirostris* [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2004, 22(4): 408-413
- [42] 王昌各, 洪万树, 张其永, 等. 福建省霞浦县大弹涂鱼可持续发展战略 [J]. 福建水产, 2004(3): 64-67
- [43] 陈仕玺, 洪万树, 张其永, 等. 大弹涂鱼贮精囊结构和功能的研究 [J]. 中国水产科学, 2004, 11(5): 396-403
- [44] 赵卫红, 洪万树, 张其永, 等. 中华乌塘鳢 (*Bostrichthys sinensis*) 和大弹涂鱼 (*Boleophthalmus pectinirostris*) 成熟产卵过程中 17α -羟基孕酮和前列腺素水平的研究 [J]. 海洋与湖沼, 2004, 35(1): 69-73
- [45] 张其永, 洪万树, 叶启旺, 等. 土池育苗条件下大弹涂鱼早期仔鱼开口摄食的研究 [J]. 海洋水产研究, 2005, 26(4): 38-44
- [46] 江国强. 大弹涂鱼池塘养殖技术研究 [J]. 福建水产, 2005(1): 17-20
- [47] 蔡珠金, 洪万树, 张其永, 等. 大弹涂鱼室内人工繁殖和育苗技术研究 [J]. 台湾海峡, 2005, 24(2): 200-207.
- [48] 叶启旺, 洪万树, 张其永, 等. 大弹涂鱼土池育苗技术研究 [J]. 海洋科学, 2006, 30(4): 1-5
- [49] 张其永, 洪万树, 陈仕玺, 等. 潮间带大弹涂鱼产卵习性和自然受精卵孵化研究 [J]. 热带海洋学报, 2006, 25(5): 61-66
- [50] 洪万树, 张其永, 叶启旺, 等. 大弹涂鱼 *Boleophthalmus pectinirostris* 土池生态育苗特点与关键技术 [J]. 现代渔业信息, 2006, 21(4): 3-4
- [51] 张其永, 洪万树, 陈仕玺, 等. 潮间带滩涂颗粒有机碎屑生物组成及其游离氨基酸分析 [J]. 海洋水产研究,

- 2006, 27(4): 71–76
- [52] Chen S X, Hong W S, Zhang Q Y, et al Rates of oxygen consumption and tolerance of hypoxia and desiccation in Chinese black sleeper (*Bostrichthys sinensis*) and mudskipper (*Boleophthalmus pectinirostris*) embryos [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2006, 25 (4): 91–98
- [53] 金春华, 钟爱华, 黄福勇, 等. 大弹涂鱼自然种群遗传多样性的 RAPD 分析 [J]. 海洋科学, 2004, 28 (12): 26–30
- [54] 金春华, 钟爱华, 张海琪, 等. 大弹涂鱼不同组织器官的同工酶研究 [J]. 海洋科学, 2004, 28(3): 35–40

Review and Prospect of Mudskipper *Boleophthalmus pectinirostris* Studies

ZHANG Qi-yong HONG Wan-shu

(Department of Oceanography, College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract This paper reviews the academic and practical achievement made by the department of oceanography in the past 20 years in the mudskipper *Boleophthalmus pectinirostris*. Reproductive physibecology of this species is described, including age and growth, fecundity, gonadal development, embryonic and larval development, structure and function, physiological characteristics and cryopreservation of sperm, spawning habit, rate of oxygen consumption and tolerance of hypoxia, feeding habits of the young and adult fishes, activities of digestive enzymes and toxic effect. Great achievements of fry production in indoor cement pool and outdoor earth pond have been made. Farming standardization has been established. The ideas for further investigation are put forward.

Key words *Boleophthalmus pectinirostris*, growth, development, physibecology, artificial propagation, fry production, breeding