

菊黄东方鲀仔稚鱼的生长、发育及行为生态

施永海^{1,2*}, 张根玉¹, 刘建忠¹, 朱雅珠¹, 臧维玲², 王成辉²

(1. 上海市水产研究所, 上海 200433;

2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

摘要:在大批量苗种培育条件下,通过对菊黄东方鲀胚后发育阶段的观察、测量和摄影,研究了菊黄东方鲀仔、稚鱼的生长、发育及行为生态特点。结果显示,仔稚鱼发育分为前期仔鱼、后期仔鱼、前期稚鱼、中期稚鱼和后期稚鱼5个阶段,每个阶段由若干个时期组成,总共为17个时期。在盐度10.0~13.5、温度20.5~26.0℃条件下,鱼苗历时35d完成了从初孵仔鱼至夏花鱼种的发育。期间,鱼苗食性经历了开口和转食配合饲料2个关键时期。食物转换依次为卵黄、轮虫、卤虫幼体、中型枝角类、大型桡足类和枝角类、底栖生物和虾类幼体、配合饲料。同时,鱼苗完成了由水体中上层向中下层活动区域的转变。游泳行为经历了平游、巡游和池塘觅食巡游3个模式。鱼苗在后期仔鱼阶段特定生长率最低,为3.18%/d,中期稚鱼阶段最高,达13.31%/d。全长与日龄及积温均呈指数函数增长相关($y = ae^{bx}$)。肛前长和体高相对于全长均呈有拐点的、可分段的异速生长相关($y = ax^b$)。拐点分别出现在鱼苗16~17日龄、全长10.0mm和16~17日龄、全长10.5mm。在拐点前,肛前长、体高生长优于全长($b > 1$)。拐点后则相反($b < 1$)。根据研究结果,建议当菊黄东方鲀仔鱼4日龄开口时,采用S型褶皱臂尾轮虫,并保持轮虫密度(5~7 ind/mL);及时分池,时间在10~12日龄为好;下塘时间为20日龄左右;在鱼苗转食配合饲料后(35日龄),及时过筛、分级养殖等,提高菊黄东方鲀苗种培育存活率。

关键词:菊黄东方鲀;仔稚鱼;生长;发育;行为

中图分类号:Q 954.4; S 917

文献标识码:A

东方鲀属鱼类具有很高的药用、食用及工业价值^[1],国内外市场需求量日益增长,但由于受环境恶化和滥渔酷捕等诸多因素的影响,东方鲀属鱼类自然资源量急剧下降^[2]。为满足市场需求及弥补资源的衰退,从20世纪70年代开始,国内外开展了东方鲀人工繁殖和养殖,如:假睛东方鲀(*Takifugu pseudommmus*)^[1]、暗纹东方鲀(*Takifugu obscurus*)^[3]、红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)^[4-5]、双斑东方鲀(*Takifugu bimaculatus*)^[4]、虫斑东方鲀(*Takifugu exascurus*)^[6]、弓斑东方鲀(*Takifugu ocellatus*)^[7]和紫色东方鲀(*Takifugu porphyreus*)^[8]等。2001年开始,菊黄东方鲀

(*Takifugu flavidus*)的人工繁殖和养殖逐渐兴起^[9-10],养殖面积日益扩大。

近年来,菊黄东方鲀的人工繁育取得了成功^[2,9-12],但在苗种生产上,还有很多问题没有解决,育苗成活率低(50%~60%)^[2,12];鱼苗下塘后,转食阶段(夏花鱼种)成活率更加低(30%~40%)^[12],这严重阻碍着菊黄东方鲀养殖业的发展。仔稚鱼的生长发育在整个生活史中至关重要,由于其大部分器官都在仔鱼出膜后开始分化,仔稚鱼适应环境的能力有限,对环境的变化非常敏感,死亡率很高^[13]。目前,国内外有关东方鲀属鱼类的仔稚鱼阶段形态、行为

收稿日期:2010-05-14 修回日期:2010-08-14

资助项目:教育部新世纪人才支持计划(NCET-08-0896);上海市科委重点科技攻关(10391900700);长江口新品种驯养、繁育专项(20060508)

通讯作者:施永海,E-mail:yonghais@163.com

方面的研究已有些报道^[4,14-17],但都局限于形态发育的初步观察,没有对形态发育进行系统的分期,更没有涉及在各个形态发育阶段鱼苗的行为生态和生长特性。研究仔、稚鱼的行为生态及生长特性相对于了解其形态特征在解决实际育苗生产上的关键问题中更具意义^[18]。因此,研究菊黄东方鲀仔、稚鱼的形态发育及各发育阶段的行为生态和生长特性,对于指导生产、提高菊黄东方鲀苗种培育成活率具有非常重要的实际意义,同时对其他东方鲀属鱼类的研究有着重要的借鉴意义。

1 材料与方法

1.1 材料

2009年3-6月在上海市水产研究所苗种技术中心基地,进行了菊黄东方鲀的全人工繁殖和苗种培育试验。夏花鱼种发塘的培育方法:露天土池(0.3 hm²),鱼苗放养前一周,池塘内进行浮游生物的培养,放养密度20~30 ind/m²,放养后两周内鱼苗以池塘内浮游及底栖生物为食,后期兼投人工配合饲料。各培育阶段水质条件为水温20.5~26.5℃,盐度10.0~13.5,pH:8.2~8.5,DO:4.0~6.5 mg/L,试验用鱼苗均取自苗种生产的各阶段。

1.2 方法

仔鱼出膜当天记为0日龄。从初孵仔鱼到夏花鱼种(0~35日龄)。对同一批鱼苗进行连续观察。20日龄前,每天取样1次,每次随机取样10尾;20日龄后,每5天取样1次,每次30尾。取样时间为15:00左右。取样后用MS-222麻醉。前期(20日龄前),采用Olympus体式显微镜对鱼苗进行观察、测量及摄影;后期(20日龄后),采用卡尺测量鱼体各部分长度,用数码相机直接对鱼苗摄影。试验共采样300尾、拍照200张。菊黄东方鲀胚后发育阶段和时期的划分参考文献[18-19]的方法,并按照菊黄东方鲀的特点略作修改。

1.3 数据处理

所有数据用,mean ± SD表示,用SPSS 13.0处理。用线性回归分析全长均值与日龄及积温的关系;用异速生长模型分析肛前长及体高与全长的关系。若模型中若含有不同的生长阶段,则以拐点分开。不同生长阶段用含有不同a、b值的幂

函数方程来表达^[20-21]。采用线性回归并配合作图进行分段回归,以R²最大作为曲线拟合的标准,求得拐点值。

全长特定增长率^[22]: $SGR_L(\%/d) = (\ln L_2 - \ln L_1) / (t_2 - t_1) \times 100$;

全长与日龄及积温的关系采用指数函数^[22]: $L = ae^{bt}$; $L = ae^{bD}$;

肛前长及体高与全长的异速生长方程^[23]: $P = aL^b$; $H = aL^b$

式中,L是全长(mm),t是日龄(d),D是积温(d·℃)积温计算参考文献[24],P是肛前长(mm),H是体高(mm),a、b都是常数。

2 结果

2.1 形态发育与行为生态学

菊黄东方鲀的仔稚鱼发育,依据其形态特征、生活习性的变化,可分为前期仔鱼(0~4日龄)、后期仔鱼(5~8日龄)、前期稚鱼(9~12日龄)、中期稚鱼(13~20日龄)和后期稚鱼(21~35日龄)5个阶段。

前期仔鱼 从鱼苗孵化出膜至卵黄大部分被吸收、开始摄食外界营养。此阶段,随着鳔的充气、胸鳍的形成,鱼苗由长时间侧卧水底慢慢上浮、逐渐建立为平游模式,但总体活动能力比较弱,营养主要来自卵黄。到此阶段结束时,仔鱼由完全性营养转为内源、外源混合营养阶段,仔鱼能主动水平游动,此时是仔鱼从孵化池转入室内苗种培育池的最佳时期。共历时4d。

初孵仔鱼 0日龄,水温(21.2 ± 0.7)℃,积温0.00 d·℃,全长(2.75 ± 0.07) mm,肛前长(1.45 ± 0.06) mm,体高(1.12 ± 0.10) mm,肌节数24~26对,全身透明,略显淡黄色,体圆而粗短,背部略弯,头伏于卵黄囊上,卵黄囊较大、近椭圆形,长径(1.02 ± 0.06) mm,短径(0.96 ± 0.04) mm,油球小而密,多分散于近胚体侧,卵黄囊上有较大枝状黑色素;眼大色黑,脑部中央有一个明显的缺刻,耳石一大一小,晶莹剔透,血管流明显,管直,前后端均未开启,有肛凹锥形;鳍膜明显,由头部前端延伸至尾部(图版-1)。仔鱼常侧卧于水底,运动能力不强,游泳时呈螺旋形向水面窜游,然后慢慢落入池底。

胸鳍雏形期 1日龄,水温(21.5 ± 0.5)℃,积温21.35 d·℃,全长(2.91 ± 0.10) mm,肛前

长(1.54 ± 0.09) mm,体高(1.16 ± 0.03) mm,头端从卵黄囊上抬起,身体伸直;体色明显变黑,黑色素由芒状变成星状,半圆形的胸鳍雏形出现;口凹洞穿,口窝形成,上下颌分开,并有张合动作,肛窝形成;眼晶状体出现,颜色相对于玻璃体较深,鳔的原基(腰点)出现(图版-2)。仔鱼多静卧水底,能做间隙性短距离上下窜动。

鳔充气期 2日龄,水温(21.2 ± 0.7) °C,积温 42.70 d · °C,全长(3.05 ± 0.09) mm,肛前长(1.61 ± 0.08) mm,体高(1.14 ± 0.07) mm,眼径 0.31 ~ 0.32 mm,卵黄囊继续变小,口窝变大,张合频率增加,口裂高 0.22 ~ 0.23 mm,口裂宽 0.31 ~ 0.32 mm,体色继续变深,红色素出现,点状分布于鱼体中部、卵黄囊上方。鳔发育,充气变大,胸鳍向后延伸,长 0.40 ~ 0.42 mm(图版-3)。随着鳔的充气,仔鱼上浮,能借助胸鳍作间歇水平游动,同时伴有窜游,仔鱼能长时间停留水体中上层,静卧水底的时间明显减少。

口裂发育完成期 3日龄,水温(21.0 ± 1.0) °C,积温 63.80 d · °C,全长(3.26 ± 0.05) mm,肛前长(1.69 ± 0.05) mm,体高(1.16 ± 0.08) mm,口发育完全,做有规律的张合动作,口裂高 0.44 ~ 0.45 mm,口裂宽 0.31 ~ 0.32 mm,有极少量鱼苗开始开口摄食;眼球玻璃体颜色进一步加深;胸鳍鳍条形成(图版-4)。鱼苗能借助发育较完全的胸鳍作较长时间的作水平游动,并伴有前冲运动,鱼体能保持平衡。

开口摄食期 4日龄,水温(21.7 ± 0.7) °C,积温 85.15 d · °C,全长(3.39 ± 0.07) mm,肛前长(1.75 ± 0.04) mm,体高(1.18 ± 0.05) mm,卵黄囊物质大部分被吸收,油球集合变大。眼球发育完全,有视觉,口裂张合频率明显加大,鳃裂形成,肠发生弯曲且有蠕动,消化管前后贯通,肛门发育完全,有绿色胎粪便排出(图版-5)。90%以上的仔鱼开始摄食小型的 S 型褶皱臂尾轮虫(0.2 mm × 0.3 mm),仔鱼表现为被动摄食行为:食物必须离口裂非常近,仔鱼才张口摄食。仔鱼活动能力明显增强,主动自由的水平游动,鱼体能长时间水平静止于水体中上层。

后期仔鱼 从仔鱼摄取外界营养至仔鱼卵黄物质消耗殆尽、完全依靠外界营养生活。此阶段为混合营养阶段,仔鱼继续以卵黄物质为营养,并从外界摄取食物。期间,各鳍形成,器官开始分

化。仔鱼主要摄食轮虫,主要活动于水体的中上层,活动能力进一步增强,逐渐建立巡游模式。历时 4 d。

皮刺出现期 6日龄,水温(23.6 ± 0.6) °C,积温 130.8 d · °C,全长(3.51 ± 0.15) mm,肛前长(1.95 ± 0.10) mm,体高(1.32 ± 0.14) mm,腹部出现小皮刺,并有菊花状黑色素,消化道进一步弯曲,肠蠕动明显加快(图版-6)。仔鱼活动能力明显增强,表现为主动摄食行为,摄食量明显增加,能摄食 L 型褶皱臂尾轮虫,摄食后鱼体腹部膨大发红。鱼苗集群性、趋光性明显,同时建立了巡游模式。

臀鳍原基出现期 7日龄,水温(23.6 ± 0.6) °C,积温 154.40 d · °C,全长(3.62 ± 0.30) mm,肛前长(1.98 ± 0.25) mm,体高(1.34 ± 0.33) mm,臀部鳍膜向下扩张,形成臀鳍原基。鱼体腹部皮刺进一步增加,体表大量分布星状色素,已经很难看清内脏团(图版-7)。

肌肉分化期 8日龄,水温(23.5 ± 0.5) °C,积温 177.95 d · °C,全长(3.85 ± 0.20) mm,肛前长(2.14 ± 0.15) mm,体高(1.38 ± 0.19) mm,卵黄囊已经吸收完全;鱼体背部出现黑色素,腹部出现点射状色素;臀鳍鳍条的雏形出现,肌肉分化,肌节由原来的“V”型分化为“W”型(图版-8)。随着身体肌肉的发育,仔鱼活动能力进一步增强,开始摄食卤虫幼体,大小差异出现。

前期稚鱼 从鱼苗完全摄取外界营养至尾椎上翘。此阶段鱼苗形态发育主要集中在各鳍的发育,随着鳍的发育上,鱼苗平衡能力明显增强,主要活动范围为水体中层。鱼苗主要摄食卤虫幼体。历时 4 d。

背鳍原基出现期 9日龄,水温(24.5 ± 0.5) °C,积温 201.95 d · °C,全长(4.16 ± 0.35) mm,肛前长(2.40 ± 0.29) mm,体高(1.62 ± 0.2) mm,背部鳍膜上举,形成背鳍原基(图版-9)。大多数鱼苗能摄食卤虫幼体,大小差异进一步明显。

齿板原基出现期 10日龄,水温(24.5 ± 0.5) °C,积温 226.45 d · °C,全长(4.08 ± 0.35) mm,肛前长(2.35 ± 0.25) mm,体高(1.57 ± 0.15) mm,齿板原基出现,同时外鼻孔形成(图版-10)。

尾扇形成期 11日龄,水温(24.5 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$,积温 $250.95 \text{ d} \cdot ^{\circ}\text{C}$,全长(5.05 ± 0.70)mm,肛前长(3.04 ± 0.46)mm,体高(2.12 ± 0.31)mm,背鳍鳍条的雏形出现,尾鳍呈椭圆形,形成扇形。背鳍、臀鳍、尾鳍的鳍条出现(图版-11)。

尾椎上翘期 12日龄,水温(24.5 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$,积温 $275.45 \text{ d} \cdot ^{\circ}\text{C}$,全长(4.69 ± 0.68)mm,肛前长(2.77 ± 0.48)mm,体高(1.92 ± 0.36)mm,尾部脊椎向上翘起。背鳍、臀鳍、尾鳍鳍条数分别为:10、8、7(图版-12)。

中期稚鱼 从鱼苗齿板形成至各鳍发育完成。随着鱼苗齿板的形成,鱼苗出现互相残杀现象,遇到攻击时会出现“鼓气”现象。到此阶段结束时,鱼苗全长 $10 \sim 15$ mm(俗称:乌仔),随齿板的发育完全,鱼苗捕食能力明显增强,此时是鱼苗下塘的最好时期。本阶段,鱼苗主要生活于水体中下层,主要摄食枝角类、桡足类,能撕食不能吞下的食物。历时8d。

齿板发育完成期 14日龄,水温(24.5 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$,积温 $324.65 \text{ d} \cdot ^{\circ}\text{C}$,全长(7.64 ± 0.71)mm,肛前长(4.87 ± 0.55)mm,体高(3.48 ± 0.38)mm,背鳍、臀鳍、尾鳍鳍条数分别为10、11、11。齿板发育完全,外鼻孔出现分化,鱼体前半部分出现黄色素,身体外观呈橙黄色,身体后半部分仍然透明(图版-13)。鱼苗开始具有攻击性,鱼苗之间经常出现相互撕咬,鱼苗能摄食中型枝角类,同时能撕碎不能吞食的食物,分而食之。此时,鱼苗遇到攻击或者危险时出现“鼓气”现象。

鳍发育完成期 20日龄,水温(24.5 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$,积温 $471.65 \text{ d} \cdot ^{\circ}\text{C}$,全长(13.61 ± 1.09)mm,肛前长(8.45 ± 0.68)mm,体高(5.42 ± 0.61)mm,各鳍发育完全,背鳍、臀鳍、尾鳍鳍条数分别为:14、12、11。头部、背部以及臀鳍基部黑色素明显增加,鱼体外观青黑色,俗称“乌仔”(图版-14)。鱼苗能摄食大型桡足类和枝角类。鱼苗活动由水体的中上层转向中下层,活动能力强,生性好斗。

后期稚鱼 从乌仔下塘至夏花鱼种。鱼苗形态发育主要集中于体表斑纹的形成。此阶段鱼苗主要摄食大型桡足类、底栖生物及人工配合饲料;鱼苗建立池塘觅食巡游模式。本阶段结束时,鱼苗发育完全、斑纹接近成体,开始摄食配合饲料,过筛分级后,开始正常的养殖生产。历时

15d。

纵向色带形成期 25日龄,水温(25.5 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$,积温 $598.65 \text{ d} \cdot ^{\circ}\text{C}$,全长(16.12 ± 2.03)mm,肛前长(9.82 ± 1.22)mm,体高(5.75 ± 0.47)mm,鱼体外观青绿色,出现两条纵向色素带,鳃盖发育完全(图版-15)。鱼苗能摄食大型桡足类、腹足类幼体、水生昆虫等。

色斑形成期 30日龄,水温(25.5 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$,积温 $726.15 \text{ d} \cdot ^{\circ}\text{C}$,全长(24.56 ± 3.06)mm,肛前长(13.74 ± 1.62)mm,体高(7.38 ± 0.92)mm,鱼体色斑明显,背鳍基部一个黑斑,身体中部两侧(胸鳍后方)各出现一个圆形黑斑,尾鳍出现橘黄色,鱼体背部外观青绿色(图版-16)。鱼苗能摄食底栖生物、虾类幼体及仔虾、多毛类幼体,同时也能少量摄取悬浮人工配合饲料,鱼苗环池塘边作逆时针巡游,建立觅食巡游模式。鱼苗进入转食期。

夏花期 35日龄,水温(25.5 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$,积温 $863.65 \text{ d} \cdot ^{\circ}\text{C}$,全长(28.74 ± 2.05)mm,肛前长(16.18 ± 1.17)mm,体高(8.48 ± 0.84)mm,鱼体斑纹发育完全,呈“满天星”花纹,尾鳍橘黄色加深,臀鳍、胸鳍同时也出现橘黄色,身体中部圆形色斑颜色变深,面积变大,此时鱼苗体形、斑纹与成体基本一样(图版-17),鱼苗进入夏花幼鱼期(片子)。鱼苗开始摄食面团状人工配合饲料,同时个体间差异突现,此时是过筛分级的最佳时期。

2.2 生长特性

生长基本情况 鱼苗全长平均的特定生长率为 $6.71\%/d$,前期仔鱼(0~4日龄)、后期仔鱼(5~8日龄)、前期稚鱼(9~12日龄)、中期稚鱼(13~20日龄)、后期稚鱼(21~35日龄)各阶段的全长特定生长率分别为 $5.27, 3.18, 4.95, 13.31$ 和 $4.98\%/d$ 。其中后期仔鱼阶段最低($3.18\%/d$),中期稚鱼阶段最高($13.31\%/d$)。

全长与日龄及积温的关系 全长与日龄及积温均呈指数函数增长相关,关系式分别为 $L = 2.415e^{0.0771t}$ (图1); $L = 2.539e^{0.0031D}$ (图2)。

肛前长、体高与全长的关系 肛前长、体高与全长都呈异速增长相关。肛前长与全长异速生长拐点出现在鱼苗16~17日龄、全长 10.0 mm,在拐点前,肛前长生长快于全长($b = 1.188 > 1$);拐点后,肛前长生长明显慢于全长($b = 0.868 < 1$)。

1)(图3)。体高与全长异速生长拐点出现在鱼苗16~17日龄、全长10.5 mm,在拐点前,体高生长快于全长($b = 1.193 > 1$);拐点后,体高生长明显慢于全长($b = 0.6096 < 1$)(图4)。

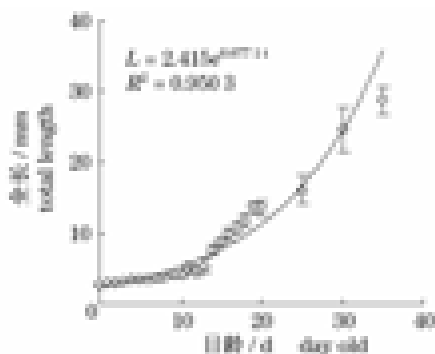


图1 菊黄东方鲀全长与日龄的关系

Fig.1 Relation between total length and day old of tawny puffer

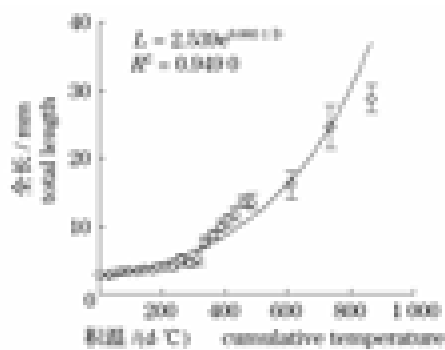


图2 菊黄东方鲀全长与积温的关系

Fig.2 Relation between total length and the cumulative temperature of tawny puffer

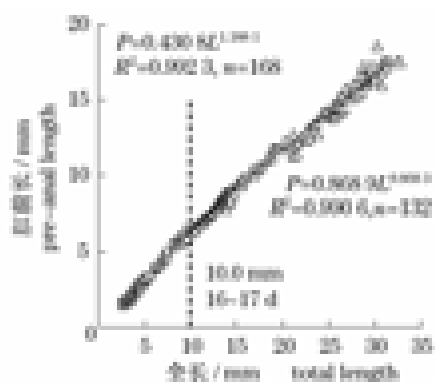


图3 菊黄东方鲀肛前长与全长异速生长曲线及分段函数表达式

Fig.3 Allometric growth relationships between pre-anal length and total length of tawny puffer

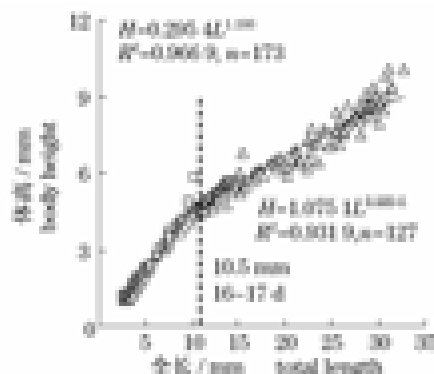


图4 菊黄东方鲀体高与全长异速生长曲线及分段函数表达式

Fig.4 Allometric growth relationships between body height and total length of tawny puffer

3 讨论

3.1 发育分期与各阶段的行为生态

有关鱼类仔、稚鱼发育的研究中,大多数学者^[13-16]的研究主要集中于形态的发育,并以此为标准来划分各发育阶段,往往忽视形态发育与行为生态及食性转变相关性的研究。形态特征的转变往往伴随着行为和摄食生态的改变,如:随着口裂的发育完全,鱼苗出现首次摄食;随着各鳍的发育,鱼苗游泳和捕食能力逐步增强;鱼鳔的发生又增强了鱼苗保持身体平衡的能力;齿板的形成,改变了鱼苗的摄食行为,同时也因此出现了互相残杀的现象。在苗种培育生产中,弄清这些关联现象比单一的以形态特征来进行发育分期更有实际意义。王武等^[18]在研究江黄颡鱼(*Pseudobagrus vachelli*)的发育分期时,指出了解各发育阶段的行为及摄食生态学特点对解决苗种培育阶段成活率低的问题更有指导意义。因此,本研究在研究仔、稚鱼发育分期时,应以形态特征为主要依据,兼顾其行为生态和摄食习性等特点。

3.2 行为生态与苗种培育成活率

菊黄东方鲀仔稚鱼的形态、行为与鱼苗的存活密切相关,主要表现在开口、互相残杀、下塘时间和转食配合饲料等关键问题。

鱼类仔鱼开口时期的摄食效率对于仔鱼建立外源摄食和存活至关重要^[4,25],仔鱼的口裂大小与活动能力决定着其开口时的饵料大小和密度^[4]。本研究发现,菊黄东方鲀仔鱼开口期在4日龄,此时仔鱼刚刚建立平游模式,活动能力较

弱,处于被动摄食阶段。而且,仔鱼口裂较小(口裂宽 $0.31 \sim 0.32 \text{ mm}$),开口饲料必须采用S型褶皱臂尾轮虫,同时还要保持轮虫达到一定密度($5 \sim 7 \text{ ind/mL}$),才能保证鱼苗由内源性营养向外源性营养的转换,提高此阶段的成活率。菊黄东方鲀对开口饵料的大小、密度的要求与条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)^[26]、牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)^[27]相似,但明显比江黄颡鱼^[18]高。

互相残杀是许多鱼类早期发育阶段都存在的现象^[4]。在菊黄东方鲀中期稚鱼的齿板发育完成期(14日龄),鱼苗全长($7.64 \pm 0.71 \text{ mm}$)时,鱼苗齿板发育完全,具有攻击行为,经常出现互相撕咬现象,这是造成苗种培育中期死亡率高的主要原因。互相残杀现象在红鳍东方鲀^[4]、双斑东方鲀^[4]、暗纹东方鲀^[17]、江黄颡鱼^[18]也有发现,这与严银龙等^[11]、郑惠东等^[14]的研究结果相似。根据本研究结果,建议在生产过程中,要在鱼苗齿板形成前就进行分池。最好在12~13日龄,通过降低鱼苗密度,减少互相残杀的机会;同时,加大饵料的密度和个体大小,减少鱼苗处于饥饿状态的时间。

下塘时间对菊黄东方鲀鱼苗下塘后成活率有重要的影响。菊黄东方鲀早期鱼苗活动、捕食能力较弱,摄食轮虫的阶段较长,本研究认为其下塘时间在20日龄(乌仔)左右比较合适,此时鱼苗全长 $10.0 \sim 15.0 \text{ mm}$,各鳍发育完成,活动、捕食能力明显增强。这与严银龙等^[11]的研究结果相似,但与江黄颡鱼^[18](4~5日龄下塘)不同,这也说明不同种类鱼苗对外界环境的适应能力有所不同。

鱼苗转食配合饲料阶段是培育夏花鱼种的关键时期。菊黄东方鲀转食人工配合饲料,在25~30 mm(片子),此时鱼苗大小分化特别快,个体较小的鱼苗在转食阶段如果抢不到食物,会出现饿死现象,这是夏花鱼种存活率低的主要原因,这种现象在江黄颡鱼^[18]也有发生。所以,建议在实际苗种生产过程中要及时过筛分级,把个体比较大、已经转食的鱼苗分开养殖。

3.3 鱼苗生长与日龄及积温的关系

鱼苗生长与水温密切相关^[28-29],因此本研究在研究鱼苗生长与日龄关系的同时,还研究生长与积温的关系,这更能体现鱼苗生长与实际生产环境条件的关系。研究发现,鱼苗全长与日龄及

积温均呈指数函数增长相关,这与秦志清等^[30]的研究结果相似。

鱼苗在11~13日龄全长明显低于拟合曲线(图1),而在14~20日龄全长高于拟合曲线,这是由于在13日龄时,生产上进行了分池疏苗的操作,分池后鱼苗生长明显加快,这说明了在13日龄前鱼苗的密度限制了其生长,生产上应该提早分池,这与本研究对互相残杀的论证结果相一致。同时,在35日龄,鱼苗全长大大低于拟合值,这是由于鱼苗转食配合饲料,有许多鱼苗没有及时转食造成的。这些结果与本研究对鱼苗阶段生长的研究结果(在13~20日龄的中期稚鱼阶段,鱼苗全长特定生长率最高)相吻合。

菊黄东方鲀肛前长、体高生长相对于全长均呈有拐点的、可分段的异速生长($y = ax^b$),拐点前肛前长和体高生长优于全长生长,拐点后则相反。这与庄平等^[20]、马镜等^[21]对鲟属鱼类的研究结果相似。

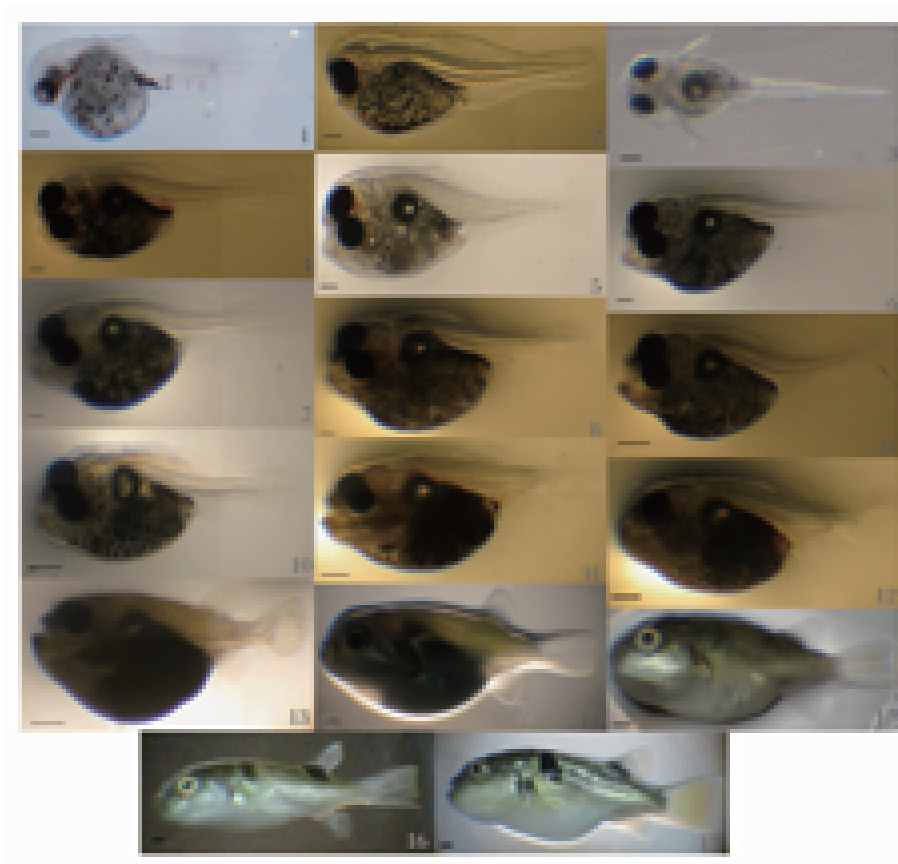
综上所述,建议当菊黄东方鲀仔鱼在4日龄开口时,采用S型褶皱臂尾轮虫,并保持轮虫密度($5 \sim 7 \text{ ind/mL}$);及时分池,时间在10~12日龄为好;下塘时间为20日龄左右;在鱼苗转食配合饲料后(35日龄),及时过筛、分级养殖。

在文章撰写过程中得到上海海洋大学周应祺教授的指导和修改,在胚后发育观察、测量及摄影过程中得到张之文、朱晓东、徐嘉波的大力协助,在此一并致谢!

参考文献:

- [1] 李晓川,林美娇.河豚鱼及其加工利用[M].北京:中国农业出版社,1998:144-160.
- [2] 施永海,张根玉,朱雅珠,等.菊黄东方鲀河口区海水全人工繁育技术研究[J].水产科技情报,2007,34(3):99-102,106.
- [3] 华元渝,李廷友,邹宏海,等.养殖型暗纹东方鲀生长与发育特性[J].水产学报,2004,28(1):8-14.
- [4] 雷霖霖.海水鱼类养殖理论与技术[M].北京:中国农业出版社,2005:36-709.
- [5] Matsuyama M, Chuda H, Ikeda Y, et al. Induction of ovarian maturation and ovulation in the cultured tiger puffer *Takifugu rubripes* by different hormonal treatments[J]. Fish Sci, 1997, 40:67-73.
- [6] Fujita S, Honma Y. Induction of ovarian maturation and development of eggs, larvae, and juveniles of the

- puffer Takifugu exascurus* reared in the laboratory [J]. Jap J Ichthyol, 1991, 38, 211 - 218.
- [7] Chen Y F. Induced ovulation and embryonic development of ocellated puffer, *Takifugu ocellatus* [J]. J Appl Ichthyol, 2005, 21, 136 - 140.
- [8] Fujita S, Abe T. Induction of ovarian maturation and development of eggs, larvae, and juveniles of the purple puffer *Takifugu porphyreus* reared in the laboratory [J]. Nippon Suisan Gakk, 1992, 58: 1627 - 1632.
- [9] 虞建辉,周志云. 菊黄东方鲀低盐度人工育苗技术 [J]. 科学养鱼, 2002(3): 12 - 13.
- [10] 张福崇,李怡群,王六顺. 北方地区菊黄东方鲀全人工育苗试验 [J]. 河北渔业, 2003, 130(4): 32 - 33.
- [11] 严银龙,施永海,朱雅珠,等. 菊黄东方鲀人工育苗试验 [J]. 水产科技情报, 2005, 32(5): 153 - 155.
- [12] 尤颖哲. 菊黄东方鲀人工繁育苗种培育技术 [J]. 水产养殖, 2006, 27(1): 30 - 31.
- [13] 章龙珍,宋超,庄平,等. 西伯利亚鲟 (F_2) 胚后发育的形态观察 [J]. 水产学报, 2009, 33(5): 755 - 761.
- [14] 郑惠东,钟建兴,蔡良候,等. 菊黄东方鲀胚胎及仔稚幼鱼的发育 [J]. 台湾海峡, 2007, 26(1): 108 - 114.
- [15] 郑雅友,李正良. 不同温度对红鳍东方鲀仔、稚、幼鱼形态发育和生长的影响 [J]. 福建水产, 2003, 4: 4 - 8.
- [16] 万蓁蓁,高天翔,张秀梅,等. 红鳍东方鲀早期发育和体表黑色素细胞形态学观察研究 [J]. 齐鲁渔业, 2007, 24(10): 12 - 15.
- [17] 王立新,华元渝. 暗纹东方鲀仔幼鱼的形态、摄食与生长的初步研究 [J]. 水产养殖, 1998, 2: 14 - 19.
- [18] 王武,边文冀,余卫忠,等. 江黄颡鱼的仔稚鱼发育及行为生态学 [J]. 水产学报, 2005, 29(4): 487 - 495.
- [19] 张耀光,何学福. 长吻𩚰幼鱼发育的研究 [J]. 水生生物学报, 1991, 15(2): 153 - 160.
- [20] 庄平,宋超,章龙珍,等. 全人工繁殖西伯利亚鲟仔稚鱼发育的异速生长 [J]. 生态学杂志, 2009, 28(4): 681 - 687.
- [21] 马境,章龙珍,庄平,等. 施氏鲟仔鱼发育及异速生长模型 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(2): 2875 - 2882.
- [22] 刘士力,李家乐,张根芳,等. 三角帆蚌稚蚌形态发育与生长特性 [J]. 水产学报, 2009, 33(4): 604 - 609.
- [23] Bervian G, Fontoura N F, Haimovici M H. Statistical model of variable allometric growth: Otolith growth in *Micropogonias furnieri* (Actinopterygii, Sciaenidae) [J]. J Fish Biol, 2006, 68(1): 196 - 208.
- [24] Zhuang P, Kynard B, Zhang L Z, et al. Comparative ontogenetic behavior and migration of kaluga, *Husodauricus*, and Amur sturgeon, *Acipenser schrenckii*, from the Amur River [J]. Environ Biol Fish, 2003, 66: 37 - 48.
- [25] 骆豫江,朱新平,潘德博,等. 高体革鲃仔稚鱼的生长与发育 [J]. 水产学报, 2008, 32(5): 697 - 703.
- [26] 柳学周,徐永江,王妍妍,等. 条石鲷的早期生长发育特征 [J]. 动物学报, 2008, 54(2): 332 - 341.
- [27] 林利民,李益云,万瑞景,等. 牙鲆早期发育阶段的摄食节律 [J]. 水产学报, 2006, 30(3): 329 - 334.
- [28] Kamler E. Ontogeny of yolk-feeding fish: an ecological perspective [J]. Rev Fish Biol Fish, 2002, 12: 79 - 103.
- [29] Kinne O. The effects of temperature and salinity on marine and brackish water animals: I. Temperature [J]. Oceanogr Mar Biol Ann Rev, 1963, 1: 301 - 340.
- [30] 秦志清,林越超,张雅芝,等. 漠斑牙鲆早期发育阶段的摄食与生长特性 [J]. 台湾海峡, 2008, 27(3): 317 - 324.



图版 菊黄东方鲀仔稚鱼发育

1. 初孵仔鱼; 2. 出膜后 1 d; 3. 出膜后 2 d; 4. 出膜后 3 d; 5. 出膜后 4 d; 6. 出膜后 6 d; 7. 出膜后 7 d; 8. 出膜后 8 d; 9. 出膜后 9 d; 10. 出膜后 10 d; 11. 出膜后 11 d; 12. 出膜后 12 d; 13. 出膜后 14 d; 14. 出膜后 20 d; 15. 出膜后 25 d; 16. 出膜后 30 d; 17. 出膜后 35 d。1~8 图的标尺:0.2 mm; 9~12 图的标尺:0.5 mm; 13~17 图的标尺:1.0 mm。

Plate Larval and juvenile developments of *T. flavidus*

1. newly hatching larva; 2. 1 day after hatching(DAH); 3. 2 DAH; 4. 3 DAH; 5. 4 DAH; 6. 6 DAH; 7. 7 DAH; 8. 8 DAH; 9. 9 DAH; 10. 10 DAH; 11. 11 DAH; 12. 12 DAH; 13. 14 DAH; 14. 20 DAH; 15. 25 DAH; 16. 30 DAH; 17. 35 DAH。Scale bar of 1-8;0.2 mm; Scale bar of 9-12;0.5 mm; Scale bar of 13-17;1.0 mm.

Growth, development and behavior ecology of tawny puffer (*Takifugu flavidus*) larvae and juveniles

SHI Yong-hai^{1,2*}, ZHANG Gen-yu¹, LIU Jian-zhong¹, ZHU Ya-zhu¹,
ZANG Wei-ling², WANG Cheng-hui²

(1. Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai 200433, China;

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The observations on the post embryonic development of larvae of tawny puffer (*Takifugu flavidus*) at each stage have been made. The photography and measurement were carried out on their growth, development and behavior ecology. The results showed that the post embryonic development of tawny puffer could be divided into 5 stages, i. e. early larva stage, late larva stage, early juvenile stage, mid juvenile stage and late juvenile stage. Each stage consists of several periods and there are 17 periods in total. The post embryo development lasted for 35 d from newly hatched larva to young fish under water temperature 20.5 – 26.0 °C and the salinity 10.0 – 13.5. There were 2 key periods of fry feeding habit changing, i. e. initial feeding and ingest artificial feed, and followed by the sequence of feed, yolk, rotifer, *Artemia* spp. larvae, medium-sized cladoceras, large copepods and cladoceras, benthic, shrimp larvae and artificial feed, etc. Habitat layers of fry are transferred from upper and middle layers into middle and under layers in the water, and their behavior underwent horizontal swimming, cruising and feeding cruising around the pond, three types of swimming behavior. The lowest of specific growth rates of fry were at late larva stage (3.18%/d) and the highest at mid juvenile stage (13.31%/d). The relationship between total length and day age or cumulative temperature could be fixed to the exponential function ($y = ae^{bx}$). The relationship of pre-anal length or body height and total length could be described by allometric growth model ($y = ax^b$). These growth showed two different stages indicated by inflexion points, which appeared at 16 – 17 d, total length 10.0 mm and 16 – 17 d, total length 10.5 mm, respectively. Before the inflection point, the growth of pre-anal length and body height were faster than total length ($b > 1$), after the inflection point it was slower ($b < 1$). It is recommended that the larvae of tawny puffer should be fed with *Brachionus plicatilis* (S-type) with 5 – 7 ind/mL at 4 days old, fry density should be reduced at 10 – 12 days old, fry should be transferred from indoor into pond outdoor at about 20 days old and divided to breed by sifting when fry can ingest artificial feed (35 days old) to improve the survival rate in tawny puffer fry rearing.

Key words: tawny puffer (*Takifugu flavidus*); larvae and juveniles; growth; development; behavior ecology

Corresponding author: SHI Yong-hai. E-mail: yonghais@163.com