

大鳞副泥鳅消化系统胚后发育组织学观察^{*}

刘亚秋¹, 高胜涛¹, 胡雨¹, 余仕祥², 王志坚¹

(1. 西南大学 生命科学学院 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室 水产科学重庆市市级重点实验室, 重庆 400715;

2. 重庆市垫江县农业委员会, 重庆 408300)

摘要:利用组织学和组织化学的方法,对0~50日龄(Days after hatching,DAH)大鳞副泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus*)消化系统胚后发育进行显微观察和研究。结果显示:大鳞副泥鳅初孵仔鱼口咽腔封闭,消化道为一条封闭的柱形直管;3 DAH 仔鱼卵黄囊体积明显减小,肠道前端开始膨大;4 DAH 时,仔鱼开口摄食,口咽腔可见味蕾和杯状细胞,消化道迅速发育,食道结构开始分化为前后两部;5 DAH 时,卵黄囊基本耗尽,肝脏呈网状结构,肝血窦出现;7 DAH 时,仔鱼的口咽腔味蕾和粘液细胞大量增加,肝脏出现脂肪空泡;15 DAH 后,食道前后段结构差异显著,后段呈“I”形状;20 DAH 时,食道粘液细胞丰富,肠道、肝脏和胰脏发育逐渐完成;50 DAH 幼鱼前肠粘膜褶皱结构复杂,粘液细胞丰富,中肠到后肠毛细血管逐渐丰富,管壁也逐渐变薄,形成明显的消化区与呼吸区。研究认为20 DAH 后大鳞副泥鳅消化系统逐渐发育完善;10~20 DAH 为肠道呼吸功能形成期,肠道呼吸功能的形成与生存在静水低氧环境有关。

关键词:大鳞副泥鳅;消化系统;胚后发育;组织

中图分类号:Q954.48

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2016)03-0031-07

大鳞副泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus*)隶属于鲤形目(Cypriniformes),鳅科(Cobitidae),副泥鳅属(*Paramisgurnus*),主要分布于长江中下游^[1]。该鱼肉质鲜美,是一种营底栖生活的小型经济鱼类。近些年来,随着大鳞副泥鳅的需求量逐年上升,人工养殖规模不断扩大,对大鳞副泥鳅鱼苗的需求量也逐渐增加。但是,在苗种阶段的高死亡率成为了大鳞副泥鳅在规模化人工商品鱼养殖生产中的巨大阻碍。目前关于大鳞副泥鳅的研究主要集中在胚胎发育和杂交育种等方面^[2-4],对该鱼胚后发育过程中消化系统的研究尚未见报道。仔鱼消化系统的生理功能不断完善不仅直接关系到鱼类的生长与发育,更是鱼类后期发育和繁殖等生命活动的重要保证^[5-8]。因此,研究鱼类消化系统发育,对更好地了解鱼类早期的摄食行为以及消化生理特性对于提高苗种成活率是十分必要的。部分鳅科鱼类如大鳞副泥鳅、泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)等,在低氧的情况下存在肠道呼吸的特点^[9-10]。大鳞副泥鳅在苗种培育过程中早期高死亡率与苗种开始吞食气泡现象有关,关于大鳞副泥鳅肠道发育与呼吸之间的关系则未见报道。为此,本研究对大鳞副泥鳅早期消化系统的组织学变化及特征进行研究,了解该鱼消化系统的形成和发育过程,并对肠呼吸组织结构特点进行初步探讨,以为该鱼的规模化苗种培育提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料

大鳞副泥鳅受精卵由重庆市垫江水产站提供,同一批受精卵于2014年4月20日孵化出膜,饲养50 d,于6月10日结束。仔鱼饲养于容积100 L的3个循环水族缸内,缸内置小型鹅卵石,饲养期间,每天测定水温,为 $(21.5 \pm 1.5)^\circ\text{C}$,光照周期为14 h光照:10 h黑暗,微流水饲养。水体中溶氧质量浓度为 $(7.21 \pm 0.63) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,氨氮质量浓度小于 $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,pH值为7.5~8.2。4日龄(Days after hatching,DAH)仔鱼开始投喂丰年虫(*Artemia nauplii*) (天津市丹阳水产科技有限公司),10 DAH 时开始投喂丰年虫和微颗粒S1饲料(颗粒大小为150~250 μm)混合饵料,20 DAH 时开始完全投喂微颗粒S3号饲料(S3号饲料颗粒大小为480~750 μm),饲料

^{*} 收稿日期:2015-07-03 修回日期:2016-03-15 网络出版时间:2016-04-29 18:34

资助项目:公益性行业(农业)科研专项(No. 201203086);重庆市科委重点实验室专项经费

作者简介:刘亚秋,男,研究方向为水生生物学,E-mail:393386160@qq.com;通信作者:王志坚,教授,E-mail: wangzj1969@126.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20160429.1834.004.html>

均购自于山东升索渔业饲料研究中心,投喂之前清除污物。

1.2 方法

1.2.1 取材方法 仔鱼出膜后 24 h 作为 1 DAH 仔鱼。从初孵仔鱼(仔鱼刚出膜)开始取材,10 DAH 前(含 10 DAH)每日 8:00 投喂前取材 1 次,10 DAH 后每 2~5 d 取样 1 次,每次取 10~12 尾并测量鱼体全长,取材时间截止于仔鱼出膜 50 d。

1.2.2 组织学方法 每次取 10~12 个组织样品 Bouin's 液固定。材料均以石蜡包埋,切片厚度 5~7 μm ,分别以横向和纵向两种方式进行连续切片,之后进行苏木精-伊红(HE)或阿利新蓝-过碘酸雪夫氏(AB-PAS)染色,中性树胶封片。AB-PAS 染色,将粘液细胞分为 4 种类型:I 型为红色,AB 阴性,PAS 阳性,含有中性粘多糖;II 型为蓝色,AB 阳性,PAS 阴性,含有酸性粘多糖;III 型为紫红色,AB 与 PAS 均为阳性,主要含有 PAS 阳性的中性粘多糖,同时含有少量的 AB 阳性的酸性粘多糖;IV 型为蓝紫色,AB 与 PAS 均为阳性,主要含有 AB 阳性的酸性粘多糖,同时含有少量 PAS 阳性的中性粘多糖^[11]。

1.2.3 显微观察与数据分析 每项指标采用 IPP 图像分析软件随机选取 30 个样本测量相关数据。制片后采用 NIKON ECLIPSE 80i 显微摄像系统观察、照相。每日龄仔稚鱼消化道各段任意取 3 张切片随机选 10 个视野,每项指标采用 IPP 图像分析软件测量相关数据。测得的数值经 Excel 2010 及 SPSS 19.0 软件进行分析统计。所有统计值均用“平均值 $\pm$ 标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 生长及形态学特点

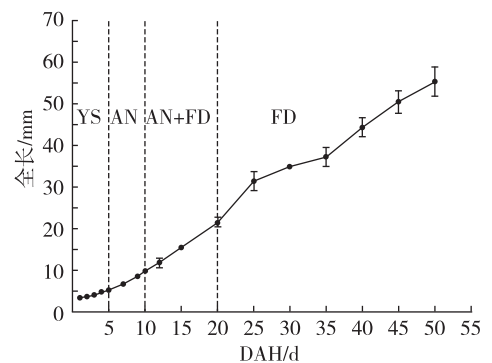
大鳞副泥鳅从刚出膜至卵黄囊完全消失为仔鱼期,卵黄囊完全消失至鳞片长齐为稚鱼期,之后直至初次性成熟均为幼鱼期。仔鱼、稚鱼呈线性生长,拟合方程为: $y = 1.1129x$ ($R^2 = 0.99$) (图 1)。初孵仔鱼消化管为卵黄囊背侧的一条简单直形狭窄管道,口和肛门已有雏形,但未与外界连通(图 2a)。2 DAH 仔鱼,口张开,但消化管未贯通,外鳃形成。4 DAH 部分仔鱼开口摄食,开口饵料为丰年虫,大部分卵黄囊被吸收。6 DAH 仔鱼消化管前端明显膨大(图 2b)。7 DAH 时,肝脏大小约为 $(0.15 \pm 0.03) \text{ mm} \times (0.20 \pm 0.02) \text{ mm}$,到 18 DAH 时肠道前段形成细微弯曲(图 2c)。20 DAH 稚鱼肠道前段膨大,肠管中后段薄而透明,且布满丰富的毛细血管。

2.2 卵黄囊的吸收

卵黄囊位于消化道腹部。初孵仔鱼到 2 DAH 仔鱼阶段卵黄囊前段椭圆形,后段棒状;初孵仔鱼、1 DAH 仔鱼、2 DAH 仔鱼卵黄囊前段长径分别为 (0.84 ± 0.09) , (0.80 ± 0.04) , $(0.50 \pm 0.03) \text{ mm}$;短径分别为 (0.49 ± 0.04) , (0.41 ± 0.03) , $(0.30 \pm 0.03) \text{ mm}$;后段长径分别为 (1.27 ± 0.10) , (1.26 ± 0.07) , $(1.57 \pm 0.10) \text{ mm}$;短径分别为 (0.18 ± 0.03) , (0.20 ± 0.02) , $(0.27 \pm 0.04) \text{ mm}$ 。3 DAH 仔鱼卵黄囊呈棒状,长径 $(2.20 \pm 0.11) \text{ mm}$,短径 $(0.18 \pm 0.04) \text{ mm}$ 。5 DAH 仔鱼整个卵黄囊基本耗尽。6 DAH 仔鱼卵黄囊彻底消失,进入外源性营养阶段。

2.3 组织学与组织化学

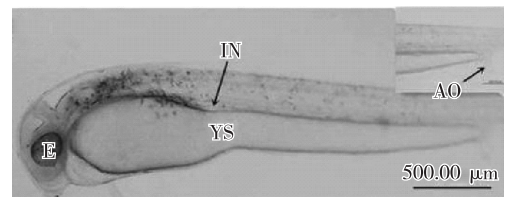
2.3.1 口咽腔 初孵仔鱼已经出现口凹。1 DAH 仔鱼,尚未开口,口咽腔上皮为单层扁平上皮(图 3a)。4 DAH 仔鱼因口咽腔与口凹相通,形成口裂,口咽腔上皮为复层扁平上皮,可见味蕾和嗜酸



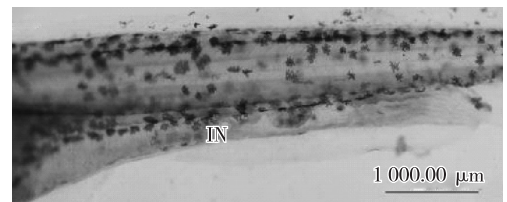
注:YS-卵黄囊(Yolk sac),AN-丰年虫(*A. nauplii*),FD-饲料(Fodder)。

图 1 大鳞副泥鳅仔稚鱼随日龄变化生长曲线

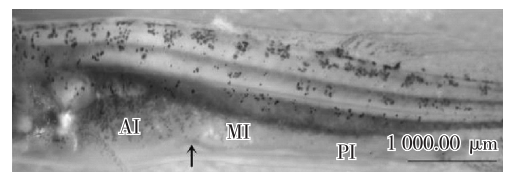
Fig. 1 Growth of *P. dabryanus* larvae and juveniles during the experiment



a 初孵仔鱼形态,示卵黄囊,肠道,肛门



b 6 DAH 仔鱼肠道形态,示肠道



c 18 DAH 稚鱼,黑色箭头示肠道前部螺旋弯曲

注:AI-前肠;AO-肛门;E-眼;IN-肠道;MI-中肠;PI-后肠;YS-卵黄囊。

图 2 大鳞副泥鳅仔稚鱼消化道形态学变化

Fig. 2 Change of digestive tract of *P. dabryanus* larvae and juveniles

性的杯状细胞(图 3b)。7 DAH 时,口咽腔粘膜内出现少量Ⅱ型粘液细胞(图 3c)。15 DAH 稚鱼,口咽腔粘膜层含有丰富的味蕾和杯状细胞,肌层增厚(图 3d)。直到实验结束口咽腔结构并未再出现明显变化。

2.3.2 食道 1 DAH 时,食道呈细管状,粘膜上皮为单层扁平上皮,未发现粘液细胞。4 DAH 仔鱼食道前后贯通,连接口咽腔的食道粘膜上皮多为复层扁平上皮细胞,粘膜层缺乏杯状细胞;连接肠道的后段食道内层多为单层柱状上皮细胞,且粘膜层具有丰富粘液细胞。食道前后段的粘膜下层均为疏松的结缔组织(图 4a)。7 DAH 时,食道后段有丰富Ⅱ型粘液细胞(图 4b)。10 DAH 时,食道后段Ⅲ、Ⅳ粘液细胞数量增加(图 4d)。15 DAH 稚鱼食道前后段结构差异明显,后段布满杯状细胞。食道后段结构呈“U”形状(图 4c)。随着仔稚鱼的生长,食道粘液细胞数量不断增加,总体结构并未出现明显变化。

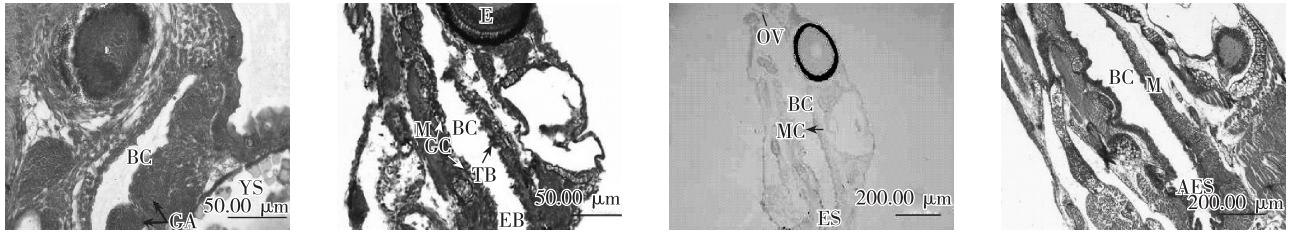


图 3 大鳞副泥鳅仔稚鱼口咽腔的发育
a 1 DAH 仔鱼口咽腔纵切(HE) b 4 DAH 仔鱼口咽腔纵切(HE) c 7 DAH 稚鱼口咽腔纵切(AB-PAS) d 15 DAH 稚鱼口咽腔纵切(HE)
注: AES-食道前部; BC-口咽腔; E-眼; ES-食道; GC-杯状细胞; GA-鳃弓; M-肌肉层; MC-粘液细胞; OV-口腔瓣; TB-味蕾; YS-卵黄囊。

图 3 大鳞副泥鳅仔稚鱼口咽腔的发育

Fig. 3 Development of buccopharynx cavity of *P. dabryanus* larvae and juveniles

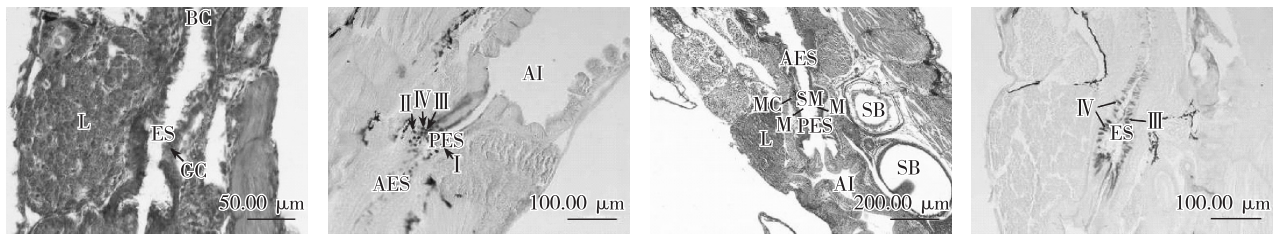


图 4 大鳞副泥鳅仔稚鱼食道的发育
a 4 DAH 仔鱼食道纵切(HE) b 7 DAH 稚鱼食道纵切(AB-PAS) c 15 DAH 稚鱼食道纵切(HE) d 10 DAH 稚鱼食道纵切(AB-PAS)
注: AES-食道前部; AI-前肠; BC-口咽腔; MU-粘膜层; SB-鳃; PES-食道后部; SM-粘膜下层。

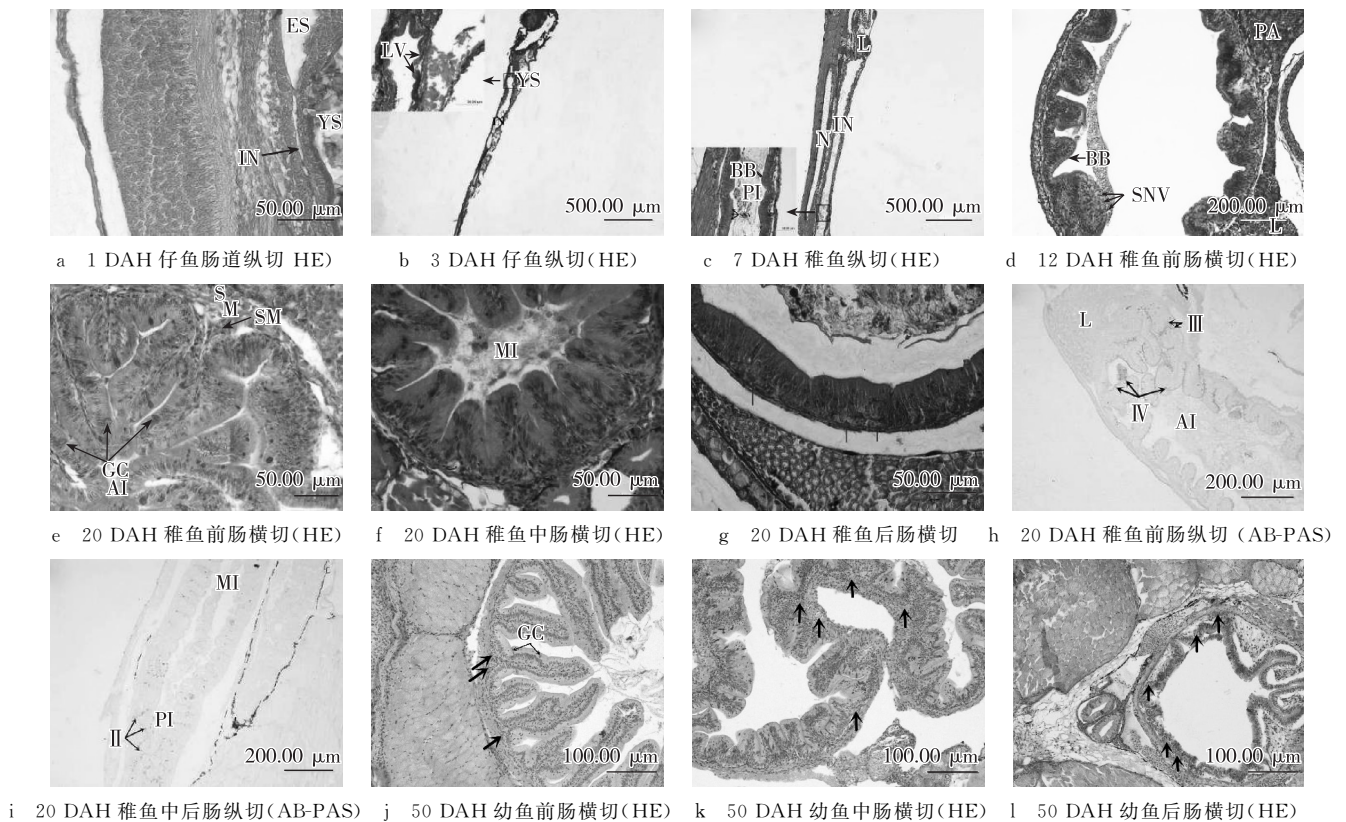
图 4 大鳞副泥鳅仔稚鱼食道的发育

Fig. 4 Development of esophagus of *P. dabryanus* larvae and juveniles

2.3.3 肠道 初孵仔鱼肠道是紧贴在卵黄囊背侧的一条长直狭窄管道,结构简单(图 2a)。1 DAH 时肠道内腔上皮由单层扁平上皮构成(图 5a)。3 DAH 仔鱼肠道前部开始膨胀且管壁增厚,肠道前段的粘膜褶皱出现,褶皱高度达 $(19.69 \pm 3.54) \mu\text{m}$ (图 5b)。7 DAH 时,前段到后段肠道粘膜褶皱高度分别为 (36.54 ± 6.14) , (29.07 ± 4.53) , $(19.89 \pm 3.95) \mu\text{m}$,依次降低,粘膜层出现大量核上空泡,同时肠道上皮出现明显的纹状缘(图 5c)。12 DAH 稚鱼,肠壁变厚,前肠粘膜层厚度达 $(19.84 \pm 5.21) \mu\text{m}$,粘膜褶皱增高达 $(113.57 \pm 37.34) \mu\text{m}$ (图 5d)。18 DAH 时,肠道螺旋弯曲前部称为前肠,向后至第二处轻微弯曲为中肠,弯曲至泄殖孔段为后肠(图 2b)。20 DAH 时,肠道发育基本完成;前肠粘膜褶皱丰富,上皮中有丰富的Ⅲ、Ⅳ粘液细胞,粘膜层、粘膜下层和肌层分别为 (28.84 ± 4.11) , (10.64 ± 3.12) , $(16.64 \pm 4.25) \mu\text{m}$ (图 5e、h);中肠粘膜层、粘膜下层、肌层厚度分别为 (20.62 ± 3.51) , (8.14 ± 3.96) , $(10.64 \pm 2.87) \mu\text{m}$ (图 5f)。后肠上皮层很薄,粘膜层、粘膜下层、肌层厚度分别为 (13.52 ± 3.28) , (5.21 ± 3.51) , $(5.98 \pm 2.15) \mu\text{m}$,粘液细胞主要为Ⅱ型,粘膜下层含有丰富的血管(图 5g、i)。50 DAH 时,前肠、中肠、后肠结构差异明显,前肠粘膜褶皱丰富,褶皱高度为 $(214.06 \pm 34.54) \mu\text{m}$;上皮中有丰富的粘液细胞,粘膜层、粘膜下层和肌层厚度分别达 (32.84 ± 6.02) , (11.64 ± 3.57) , $(18.33 \pm 4.15) \mu\text{m}$ (图 5j);中肠粘膜褶皱较前肠浅,高度达 $(95.69 \pm 23.31) \mu\text{m}$,粘液细胞较少,粘膜层、粘膜下层和肌层厚度分别为 (23.62 ± 4.34) , (10.25 ± 4.02) , $(11.31 \pm 3.77) \mu\text{m}$,且其中可见少量血管,肠道各层结构变薄(图 5k);后肠中粘膜褶皱平滑,褶皱高度为 $(55.32 \pm 14.41) \mu\text{m}$,上皮层很薄,粘膜层、粘膜下层和肌层厚度分别为 (17.25 ± 5.21) , (13.25 ± 3.23) , $(10.25 \pm 4.01) \mu\text{m}$,且分布丰富的毛细血管(图 5l)。

2.3.4 肝和胰脏 初孵仔鱼肝脏没有形成。4 DAH 仔鱼的肝细胞呈圆形、椭圆形或方形,细胞核圆形。细胞之

间出现不规则空隙,开始出现肝细胞索以及导管(图 6a)。5 DAH 时,肝脏呈网状结构,出现肝血窦(图 6b)。7 DAH 稚鱼的肝脏出现脂肪空泡(图 6c)。25 DAH 稚鱼肝体积逐渐增大,肝细胞致密,肝脏血管变得更加丰富(图 6d)。随着仔稚鱼生长,肝细胞数量增多,肝细胞体积增大(图 6e)。胰脏包裹在肠道前段位于肝脏下部。5 DAH 时,胰脏出现后迅速发育,胰脏细胞核大且呈椭圆形(图 6f)。12 DAH 稚鱼胰腺经 HE 染色呈蓝紫色,细胞呈圆形,细胞核深染,在腺泡中央可以清晰看到嗜酸性的酶原颗粒,并出现明显的静脉血管(图 6g)。20 DAH 稚鱼胰脏细胞增大,分化出胰岛(图 6h)。30 DAH 时,出现成熟的分泌腺体,以及中央血管(图 6i)。随着仔稚鱼生长胰脏体积逐渐增大,且结构更复杂。



注:AI-前肠;BB-纹状缘;IN-肠道;GC-杯状细胞;LV-脂肪空泡;MI-中肠;N-脊索;PI-后肠;S-浆膜层;SNV-核上空泡。g、j~l 图中黑色箭头示毛细血管。

图 5 大鳞副泥鳅仔稚鱼肠道的发育

Fig. 5 Development of intestine of *P. dabryanus* larvae and juveniles

3 讨论

实验观察表明,大鳞副泥鳅仔稚鱼消化系统的发育模式与多种淡水鱼类类似^[12-13,15-16],它的初孵仔鱼消化道是一条简单直形的管道,管腔狭窄,管壁仅由单层上皮细胞构成。4 DAH 时,口咽腔开始出现明显的味蕾和杯状细胞,此时仔稚鱼消化道贯通,进入混合营养阶段。通过实验观察,大鳞副泥鳅口咽腔并没有齿的出现,表明在大鳞副泥鳅在早期发育过程中的摄食方式主要以吸食为主^[6,12]。6 DAH 时,口咽腔内粘液细胞明显增多,有研究表明口腔中粘液细胞分泌的粘液对食物有一定的润滑作用^[6]。这也与大鳞副泥鳅仔鱼进入外源性营养阶段相符。

大鳞副泥鳅食道的发育模式类似于泥鳅^[12]、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)^[13]、鲮海鲷(*Pagellus erythrinus*)^[18]等鱼类。4 DAH 时,大鳞副泥鳅仔稚鱼食道贯通,食道后段开始出现少量杯状细胞,这标志着仔稚鱼由内源性营养阶段向混源性营养阶段的转变^[12-13]。7 DAH 时,食道后段有丰富的 I 和 II 型粘液细胞,而前段缺乏粘液细胞。Mai 和 Gisbert 等人^[19-20]报道表明在鱼类食道发育过程中食道会因为功能不同划分前后两段,其中前段起运输作用而后段起润滑和杀菌作用。10 DAH 稚鱼食道后段 III 和 IV 型粘液细胞增多,标志着食道功能进一步的完善^[12-13]。大鳞副泥鳅食道在 15 DAH 前后段差异更加明显,后段呈“U”字型且含有丰富的粘膜褶皱和

粘液细胞,这可能是食道发育完善的标志。

大鳞副泥鳅仔稚鱼肠道早期发育过程与多数无胃鱼类类似^[12,24],初孵仔鱼的肠道为一条简单直形管道。

3 DAH 仔鱼肠道前部膨大,肠道上皮开始出现脂肪泡,表明泥鳅肠道前段脂肪消化吸收能力的发育^[21-22]。7 DAH 大鳞副泥鳅肠道出现明显纹状缘,增加了营养物质吸收的面积,肠道吸收能力增强。12 DAH 时,肠道中后部出现大量核上空泡,其中原因可能是肠道消化酶系统的不完善,主要依靠肠细胞进行胞饮作用和细胞内消化^[20-22]。18 DAH 时,肠道出现细微扭曲将肠道分为了前后两部分,这一点与泥鳅类似^[12]。20 DAH 后,核上空泡完全消失,此时肠道消化吸收功能逐渐完善。

大鳞副泥鳅在 20 DAH 后肠后段粘膜下层血管数量增多,这可能是稚鱼开始适应肠呼吸功能的标志。与其他具有气呼吸功能的鱼类一样,该鱼肠管具有高度血管化的呼吸上皮和较短的气体扩散距离^[23]。20 DAH 时,肠后段含有丰富的Ⅱ型粘液细胞,酸性粘液物质明显增多,为肠管进行气体交换提供了稳定的酸性环境,这也是大多数鱼类辅助气呼吸器官的共有特征^[18,26]。大鳞副泥鳅在 50 DAH 时,前中后各段结构差异明显,肠道前段粘膜褶皱高且结构较复杂,粘液细胞丰富。肠道后部肠壁较薄,粘膜褶皱浅,缺乏典型的柱状上皮细胞,含有丰富毛细血管的特点利于大鳞副泥鳅进行肠道呼吸。McMahon 等人^[27]研究表明泥鳅的肠兼具消化和呼吸两大功能。Gonçalves 等人^[10]对泥鳅成体肠呼吸的研究也有类似结果。

实验中发现大鳞副泥鳅仔稚鱼发育过程中肠道结构特点与泥鳅、大鳞泥鳅(*Misgurnus mizolepis*)等类似^[13,29],却又明显不同于其他鳅科鱼类;这可能是鳅科中泥鳅属(*Misgurnus*)和副泥鳅属的鱼类具有相似的生存环境,长期生活在静水的底层,常出没于池塘,沟渠以及水田底部等低氧的环境下,而不同于其他鳅科鱼类喜于生活在含氧丰富的流水的环境中^[1,23,31]。长期处于这种静水低氧的环境下,这可能导致了该鱼幼体在早期发育中,不同于大多数硬骨鱼类,主要依靠外鳃进行呼吸的呼吸方式^[2]。也有报道表明相较于其他硬骨鱼类,泥鳅鳃的占有率低^[30],这表明它的鳃呼吸能力相对较弱。由于静水生存环境的特点,它的鳃小片结构也明显区别其他鱼类^[31]。这些特点可能是导致大鳞副泥鳅以及泥鳅在仔稚鱼发育过程中肠道结构不同于其他鳅科鱼类重要原因。

Abol-Munafi 等人^[24]研究表明肝脏和胰脏在硬骨鱼类对营养物质储存、消化、吸收起着重要的作用。大鳞副泥鳅肝脏和胰脏是分开的。有研究表明在很多硬骨鱼类在发育过程中肝细胞中空泡会逐渐增多变大^[12-13],大鳞副泥鳅肝脏随着发育也有类似特点。这一特点表明肝脏发育与其消化功能发育的一致性^[20]。在 7 DAH 时,嗜酸性的酶原颗粒在腺泡中出现,表明胰脏的功能开始逐步完善。

参考文献:

- [1] 丁瑞华. 四川鱼类志[M]. 成都:四川科学技术出版社, 1994:120-122.
- Ding R H. The fishes of Sichuan, China[M]. Chengdu: Si-

chuan Science and Technology Press, 1994:120-122.

- [2] 梁秋桑,梁坚勇,陈朝,等. 大鳞副泥鳅的胚胎发育以及鱼种培养[J]. 水生生物学报, 1988, 12(1): 28-39.

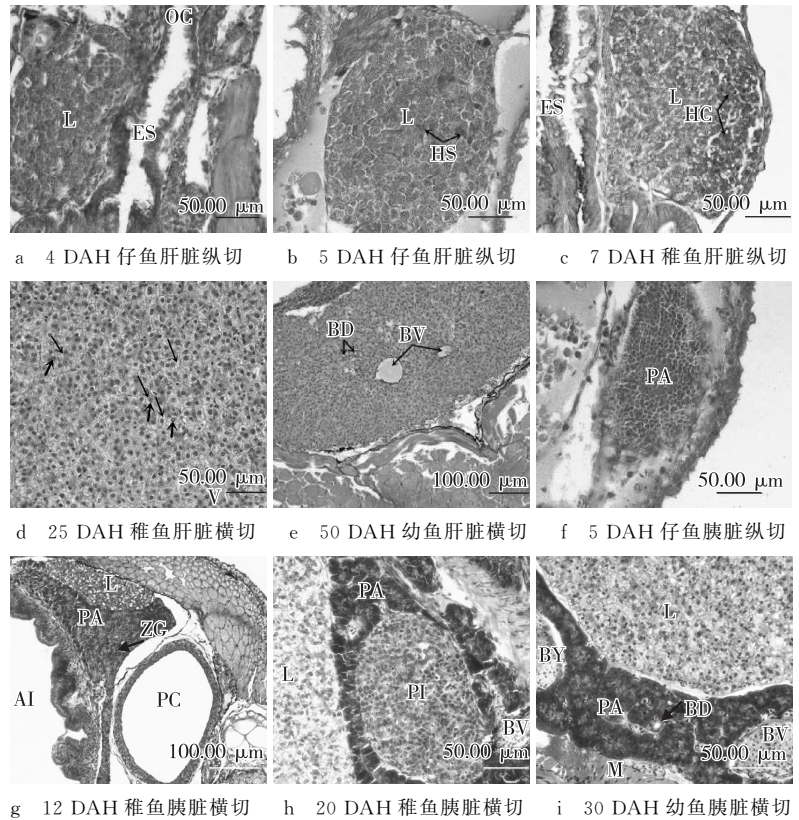


图6 大鳞副泥鳅仔稚鱼消化腺的发育
注: BV-血管; BD-胆管; L-肝脏; HC-肝细胞; HS-肝血窦; PI-胰岛; PA-胰脏; ZG-酶原颗粒。d 图中粗黑箭头示肝细胞核, 细黑箭头示肝细胞质空泡。

图6 大鳞副泥鳅仔稚鱼消化腺的发育

Fig. 6 Development of digestive gland of *P. dabryanus* larvae and juveniles

- Liang Z X, Liang J Y, Chen C, et al. The embryonic development and fingerling culture of loach, *Paramisgurnus dabryanus* sauvage[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1988, 12(1): 28-39.
- [3] 杜启艳, 南平, 燕帅国, 等. 豫北地区大鳞副泥鳅胚胎发育的观察[J]. 河南师范大学学报: 自然科学版, 2007, 35(2): 146-149.
- Du Q Y, Nan P, Yan S G, et al. Observation on the embryonic development of *Paramisgurnus dabryanus*[J]. Journal of Henan Normal University: Natural Science, 2007, 35(2): 146-149.
- [4] 方礼豹, 周小云, 崔蕾, 等. 二倍体、四倍体泥鳅与大鳞副泥鳅杂交子代 DNA 相对含量与染色体组型的比较[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(4): 500-505.
- Fang L B, Zhou X Y, Cui L, et al. Comparison on karyotypes and relative DNA contents of reciprocal hybrids among diploid, tetraploid loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) and large scale loach (*Paramisgurnus dabryanus*)[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2011, 30(4): 500-505.
- [5] Kjorsvik E, Pittman K, Pavlov D. From fertilization to the end of metamorphosis: functional development[M]//Mokness E, Kjorsvik E, Olsen Y. Culture of cold-water marine fish. Oxford: Blackwell Publishing Company, 2004: 204-278.
- [6] Bisbal G A, Bengtson D A. Development of the digestive tract in larval summer flounder[J]. Journal of Fish Biology, 1995, 47(2): 277-291.
- [7] Boulhic M, Gabaudan J. Histological study of the organogenesis of the digestive system and swim bladder of the Dover sole, *Solea solea* (Linnaeus 1758)[J]. Aquaculture, 1992, 102(4): 373-396.
- [8] Watanabe Y. Intracellular digestion of horseradish peroxidase by the intestinal cells of teleost larvae and juveniles[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1984, 48(1): 37-42.
- [9] Koyama T. A study on the role of the so-called intestinal respiration of the loach in defecation[J]. Japanese Journal of Ichthyology, 1958, 7: 99-105.
- [10] Goncalves A F, Filipe L, Cristina C, et al. Is there a compromise between nutrient uptake and gas exchange in the gut of *Misgurnus anguillicaudatus*, an intestinal air-breathing fish? [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics, 2007, 2(4): 345-355.
- [11] 尹苗, 杨桂文, 安利国. 胡子鲶粘液细胞类型及其在消化道中的分布[J]. 动物学报, 2001, 47(S1): 116-119.
- Yin M, Yang G W, An L G. Study on the type of mucous cells and its distribution in alimentary tract of *Clarias fuscus*[J]. Current Zoology, 2001, 47(S1): 116-119.
- [12] Zhang J Y, Yang R B, Yang X F, et al. Ontogeny of the digestive tract in mud loach *Misgurnus anguillicaudatus* larvae[J]. Aquaculture Research, 2016, 47(4): 1180-1190.
- [13] Yang R B, Xie C X, Fan Q X, et al. Ontogeny of the digestive tract in yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* larvae[J]. Aquaculture, 2010, 302(s1/2): 112-123.
- [14] 徐革锋, 刘洋, 李永发, 等. 细鳞鲴早期发育过程中的消化系统发生[J]. 中国水产科学, 2013, 20(4): 733-742.
- Xu G F, Liu Y, Li Y F, et al. Organogenesis of the digestive system in *Brachymystax lenok* during early development[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(4): 733-742.
- [15] Moitra A, Singh O N, Munshi J S. Microanatomy and cytochemistry of the gastro-respiratory tract of an air-breathing cobitid fish *Lepidocephalichthys guntea* [J]. Japanese Journal of Ichthyology, 1989, 36(2): 227-232.
- [16] Pradhan P K, Jena J K, Mitra G, et al. Ontogeny of the digestive tract in butter catfish *Ompok bimaculatus* (Bloch) larvae[J]. Fish Physiology Bio-chemistry, 2012, 38(6): 1601-1617.
- [17] 许宝红, 王亚楠, 肖调义, 等. 四种淡水经济鱼类消化系统的组织学比较[J]. 中国农学通报, 2011, 27(32): 47-55.
- Xu B H, Wang Y N, Xiao D Y, et al. The comparative histology studies on digestive system of four species of economic freshwater fishes[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(32): 47-55.
- [18] Micale V, Garaffo M, Genovese L, et al. The ontogeny of the alimentary tract during larval development in common pandora *Pagellus erythrinus* L. [J]. Aquaculture, 2006, 251(s2/3/4): 354-365.
- [19] Mai K, Yu H, Ma H, et al. A histological study on the development of the digestive system of *Pseudosciaena crocea* larvae and juveniles[J]. Journal of Fish Biology, 2005, 67(4): 1094-1106.
- [20] Gisbert E, Piedrahita R H, Conklin D E. Ontogenetic development of the digestive system in California halibut (*Paralichthys californicus*) with notes on feeding practices[J]. Aquaculture, 2004, 232(3): 455-470.
- [21] Umur O, Chris L, Ihsan C. Ontogeny of the digestive tract of larval percula clownfish, *Amphiprion percula* (Lacépède 1802): a histological perspective [J]. Aquaculture Research, 2008, 39(10): 1077-1086.
- [22] Calzada A, Medina A, Canales M L. Fine structure of the intestine development in cultured sea bream larvae[J]. Journal of Fish Biology, 1998, 52(2): 340-365.
- [23] 刘文生, 王凤麟, 胡子鲶, 月鳢, 泥鳅具气呼吸作用器官呼吸上皮的电镜观察[J]. 水生生物学报, 2004, 28(5): 519-52.
- Liu W S, Wang F L. An electron microscopic study of the respiratory epithelium in the air respiration organs of *Clarias fuscus*, *Channa asiatica* and *Misgurnus anguillicaudatus*

- caudatus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, 28 (5): 519-52.
- [24] Abol-Munafi A B, Liem P T, Van M V, et al. Histological ontogeny of the digestive system of marble goby (*Oxyeleotris marmoratus*) larvae [J]. *Journal of Sustainability Science and Management*, 2006(1): 79-86.
- [25] Reifel C W, Travill A A. Structure and carbohydrate histochemistry of the intestine in ten teleostean species [J]. *Journal of Morphology*, 1979, 162(3): 343-359.
- [26] Park J Y, Kim I S. Histology and mucin histochemistry of the gastrointestinal tract of the mud loach, in relation to respiration [J]. *Journal of Fish Biology*, 2001, 58(3): 861-872.
- [27] McMahon B R, Burggren W W. Respiratory physiology of intestinal air breathing in the teleost fish *Misgurnus anguillicaudatus* [J]. *Journal of Experiment Biology*, 1987, 133(1): 371-393.
- [28] Hakim A, Munshi J S D, Hughes G M. Morphometries of the respiratory organs of the Indian green snake-headed fish, *Channa punctata* [J]. *Journal of Zoology*, 2009, 184 (4): 519-543.
- [29] 栾雅文. 细鳞泥鳅消化系统组织学的初步研究 [J]. *水产学报*, 1988, 12(3): 277-282.
- Luan Y W. A preliminary study on digestive system of loach (*Misgurnus mizolepis* Gunther) [J]. *Journal of fisheries of China*, 1988, 12(3): 277-282.
- [30] 黄钧, 杨淞, 覃志彪, 等. 云斑鲶、泥鳅和瓦氏黄颡鱼的含肉率及营养价值比较研究 [J]. *水生生物学报*, 2010, 34 (5): 990-997.
- Huang J, Yang S, Qin Z B, et al. Comparative study about flesh contents and nutrient values in brown bullhead, loach and darkbarbel catfish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, 34(5): 990-997.
- [31] 曹善东, 孙京田. 泥鳅鳃表面形态结构扫描电镜研究 [J]. *海洋湖沼通报*, 1995(1): 74-79.
- Cao S D, Sun J T. A Scanning election microscopical study of the gill surface of the *Misgurnus anguillicaudatus* [J]. *Transaction of Oceanology and Limnology*, 1995(1): 74-79.

Animal Sciences

Histological Observation on the Post-embryonic Development of the Digestive System in *Paramisgurnus dabryanus*

LIU Yaqiu¹, GAO Shengtao¹, HU Yu¹, YU Shixiang², WANG Zhijian¹

(1. Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education,

The Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing, School of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715;

2. Agriculture Committee of Dianjiang, Chongqing 408300, China)

Abstract: Histological and histochemical methods were used to observe the post-embryonic development of digestive system in *P. dabryanus* from hatching (0 day after hatching, DAH) until 50 DAH. The results showed that newly hatched larval buccopharyngeal cavity was closed and digestive tract was a straight tube. At 3 DAH, The anterior part of intestine inflated, size of larval yolk sac decreased significantly. At 4 DAH, the mouth opened, taste buds and goblet cells could be found, the digestive tract was developing quickly, the esophagus was divided into two different parts; larval yolk sac was depleted, Liver was reticular structure and hepatic sinusoid appeared at 5 DAH. At 7 DAH, larval taste buds and mucous cells had a substantial increase in buccopharyngeal cavity and lipid vacuole appeared in liver. After 15 DAH, the structure of anterior and posterior esophagus had significant differences, posterior esophagus was "I" shape. The esophagus had abundant mucous cells at 20 DAH. At the same time, the development of intestines, liver and pancreas gradually completed. At 50 DAH, the anterior intestine had abundant mucous folds and mucous cells, the number of blood capillaries turned more while the wall turned thinner from middle intestine to posterior intestine, formed obvious digest and air-breathing region. The results suggested that, it was a critical period of *P. dabryanus* development of digestive system from 3 DAH to 20 DAH. The digestive system of *P. dabryanus* turned to be completed at 20 DAH; Air-breathing function of the digestive tract formed was from 10 to 20 DAH, it formed may be due to hydrostatic hypoxia living environment. It's necessary to take appropriate managing measures to improve the survival rate of *P. dabryanus* larvae and juveniles from 10 to 20 DAH.

Key words: *Paramisgurnus dabryanus*; digestive system; post-embryonic development; histology

(责任编辑 方 兴)