

文章编号: 1674-5566(2015)03-0357-08

## 梭鱼早期发育过程中生长及主要消化酶活性的研究

刘永士<sup>1,2</sup>, 张海明<sup>1,2</sup>, 施永海<sup>1,2</sup>, 谢永德<sup>1,2</sup>, 陆根海<sup>1,2</sup>, 刘建忠<sup>1,2</sup>, 税春<sup>1,2</sup>

(1. 上海市水产研究所, 上海 200433; 2. 上海市水产技术推广站, 上海 200433)

**摘要:** 选取梭鱼(*Liza haematocheila*)受精卵及出膜后3~28日龄鱼苗为研究对象,研究了主要消化酶活性的变化以及鱼苗的生长特点。结果表明,梭鱼苗全长、体重与日龄均呈指数相关;全长与体重呈幂函数增长相关,且为异速生长。梭鱼受精卵及鱼苗可检测到胰蛋白酶、胃蛋白酶、淀粉酶、碱性磷酸酶和酸性磷酸酶活性,且在受精卵中活性较低,未检测到脂肪酶活性。3~16日龄,胃蛋白酶活性逐渐降低至最小值,胰蛋白酶活性先升高,最大值出现在10日龄,之后降低,16日龄后,两种酶活性均显著升高( $P < 0.05$ ),均在28日龄达到最大;淀粉酶活性分别在3~10日龄和22~28日龄不断升高,最大值出现在28日龄;3~7日龄,碱性磷酸酶和酸性磷酸酶均显著升高( $P < 0.05$ ),7~22日龄碱性磷酸酶不断降低,酸性磷酸酶保持稳定,22~28日龄,两种磷酸酶活性均显著升高( $P < 0.05$ ),碱性磷酸酶和酸性磷酸酶活性的最大值分别在7日龄和28日龄。研究表明,梭鱼仔鱼消化酶并非外源性饵料所致,其活性与梭鱼发育阶段密切相关,亦在不同程度上受到外界环境和食性等因素的影响。

**研究亮点:** 研究发现梭鱼受精卵中可检测到除脂肪酶外的相应消化酶活性,且活性较低,证明梭鱼消化酶并非外源性饵料所致。梭鱼仔鱼在营养的转化过程中,各消化酶活性均不同程度降低,这也导致了此时期鱼苗死亡率升高。梭鱼从25日龄后进入幼鱼期,各消化酶活性也相应升高。

**关键词:** 梭鱼;早期发育;生长;消化酶;营养需求

**中图分类号:** S 917.4; Q 176

**文献标志码:** A

鱼类在早期发育过程中,因自身营养需求以及内源性营养向外源性营养的转变,消化系统将不断发育来适应这种变化,这主要表现在此阶段消化酶活性的改变。鱼类早期个体发育的研究,对建立适宜的苗种培育模式和饵料投喂策略以及设计合理的人工饲料将大有裨益<sup>[1]</sup>。目前,个体发育早期消化酶的不同表达模式已作为幼鱼发育和成活率的指标并为人工饲料的初始投喂时间提供参考依据<sup>[2]</sup>,这已在对其他鱼类的研究中得以报道,例如古巴雀鲷(*Atractosteus tristoechus*)<sup>[3]</sup>、塞内加尔鲷(*Solea senegalensis*)<sup>[4]</sup>、金头鲷(*sparus aurata*)<sup>[5]</sup>、狭鳕(*Theragra chalcogramma*)<sup>[6]</sup>、匙吻鲟(*Polyodon spathula*)<sup>[2]</sup>、菊黄东方鲀(*Takifugu flavidus*)<sup>[7]</sup>等。

梭鱼(*Liza haematocheila*)主要分布在中国沿

海地区,属硬骨鱼纲(Osteichthyes)、鲷形目(Mugiliformes)、鲷科(Mugilidae)、梭鱼属(*Liza*),具有生长快、肉质鲜嫩、营养丰富等特点,属广温、广盐性鱼类,是亚洲地区最主要的经济代表种之一<sup>[8]</sup>。目前,已有关于梭鱼形态发育<sup>[9]</sup>、营养代谢与免疫<sup>[8,10]</sup>、能量收支<sup>[11]</sup>等方面的研究,尚未有关于梭鱼早期发育过程中生长与消化酶活性的研究。本实验通过对梭鱼早期发育过程中(受精卵~出膜后28日龄)各阶段生长及主要消化酶(蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶和磷酸酶)活性的测定,了解梭鱼早期发育过程中的生长特点以及主要消化酶活性的变化,不仅填补了研究上的空白,也为梭鱼早期发育生物学和消化生理学提供了基础资料,同时为今后人工育苗中科学投喂、管理和开口饵料的研发提供理论依据。

收稿日期: 2014-11-25

修回日期: 2015-02-27

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2012)第1-6号]

作者简介: 刘永士(1985—),男,工程师,研究方向为养殖水环境调控与水产物繁殖及其生态生理学。E-mail: liuys101@163.com

通信作者: 施永海, E-mail: yonghais@163.com

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料

2014年4月,通过对梭鱼亲鱼的人工调控获得受精卵,梭鱼受精卵经孵化后获得初孵仔鱼,并在室内育苗池中培育。仔鱼培育期间,pH为8.09~8.92,水温为19.8~23℃;盐度初始为20,从2日龄始,每天用本地海水(S=14.3)换水1/2,至10日龄盐度为14.3,从20日龄始,每天用本地淡水(S=1.7)换水1/2,至24日龄盐度为1.7。育苗培育过程中饵料投喂组合如下:蛋黄(3~8日龄)、丰年虫幼体(5~28日龄)、鱼虫(蒙古裸腹蚤、剑水蚤等,4~28日龄),饵料转变阶段采取逐步替换方式。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 样品采集与预处理

仔鱼出膜当天记为0日龄,为便于作图,将受精卵记为1日龄。每天对同一批鱼苗取样观察其生长发育,并分别采集受精卵、3、7、10、13、16、19、22、25和28日龄鱼苗。梭鱼苗于25日龄已全身被鳞,进入幼鱼生长阶段,每次取样前先饥饿处理24h,故采集3日龄未开口摄食鱼苗样品,每次取样时间为10:00左右,取样后用双蒸水清洗鱼体表面并用滤纸擦拭干净,立即放入-80℃冰箱冷冻保存待测,同时从育苗池中取样测定鱼苗全长与体重(图1)。

实验开始前,先将冷冻样品放在0~4℃冰箱解冻,19日龄前鱼苗整体匀浆,22日龄后鱼苗去除头、尾,保留躯干,取样量约为0.3g(7~1342尾),用生理盐水洗净并用滤纸吸干,放入事先预冷的离心管中,加入5倍体积生理盐水,冰浴匀浆,冷冻离心(0~4℃,3500r/min,10min),取上清液即刻测定各种酶活性。

消化酶活力测定所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所,并按试剂盒说明书操作。

#### 1.2.2 消化酶活力定义

胰蛋白酶活性:在37℃,pH8.0条件下,每毫克蛋白中含有的胰蛋白酶每分钟使吸光度变化0.003即为一个酶活力单位(U/mg)。

胃蛋白酶活性:每毫克组织蛋白在37℃,pH3.8条件下,每分钟分解蛋白生成1μg氨基酸相当于1个酶活力单位(U/mg)。

淀粉酶活性:组织中每毫克蛋白在37℃,pH

7.0条件下与底物作用30min,水解10mg淀粉定义为1个淀粉酶活力单位(U/mg)。

脂肪酶活力:在37℃条件下,每克组织蛋白在本反应体系中与底物反应1min,每消耗1μmol底物为一个酶活力单位(U/mg)。

碱性磷酸酶活性:在37℃条件下,每克组织蛋白与基质作用15min产生1mg酚为一个活力单位(U/g)。

酸性磷酸酶活性:在37℃条件下,每克组织蛋白与基质作用30min产生1mg酚为一个活力单位(U/g)。

### 1.3 数据处理

采用SPSS 12.0处理数据,用Oneway ANOVA和Duncan氏检验法对各组数据进行显著性差异分析和多重比较, $P < 0.05$ 视为差异显著,利用Excel 2003作图。

体重与体长的平均日增长计算公式如下:

$$G_w = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1) \quad (1)$$

式中: $G_w$ 为体重平均日增长(mg/d); $t_1, t_2$ 为日龄(d); $W_1, W_2$ 分别为 $t_1, t_2$ 时的体重(mg)。

$$G_L = (L_2 - L_1) / (t_2 - t_1) \quad (2)$$

式中: $G_L$ 为体长平均日增长(mm/d); $t_1, t_2$ 为日龄(d); $L_1, L_2$ 分别为 $t_1, t_2$ 时的全长(mm)。

用指数函数分析全长、体重与日龄关系,用幂函数分析全长与体重关系,公式如下:

$$W = ae^{bt} \quad (3)$$

式中: $W$ 为体重量(mg); $t$ 为日龄(d); $a, b$ 均为常数。

$$L = ae^{bt} \quad (4)$$

式中: $L$ 为全长(mm); $t$ 为日龄(d); $a, b$ 均为常数。

$$W = aL^b \quad (5)$$

式中: $W$ 为体重(mg); $L$ 为全长(mm); $a, b$ 均为常数。

## 2 结果与分析

### 2.1 梭鱼苗的生长

3~7日龄全长、体重的平均日增长分别为0.01mm/d、0.14mg/d;8~10日龄为0.33mm/d、0.29mg/d;11~13日龄为0.44mm/d、0.44mg/d;14~16日龄为0.59mm/d、0.78mg/d;17~19日龄为0.46mm/d、0.66mg/d;20~22日龄为1.21mm/d、4.70mg/d;23~25日龄为1.19

mm/d、5.55 mg/d;26~28日龄为1.33 mm/d、13.84 mg/d。3~28日龄全长平均日增长0.66 mm/d,体重平均日增长3.16 mg/d。体重( $W$ )、全长( $L$ )与日龄( $t$ )的回归分析结果(图1)分别为 $W=0.1745e^{0.2152t}$ , $R^2=0.9934$ , $P<0.01$ ; $L=2.8021e^{0.0696t}$ , $R^2=0.9767$ , $P<0.01$ 。全长( $L$ )与体重( $W$ )的回归分析结果(图2)为 $W=0.0215L^{2.6671}$ , $R^2=0.9441$ , $P<0.01$ 。结合方程与图1,全长与体重均随日龄呈加快增长的趋势,两者平均日增长均在20~22日龄大幅度增加。

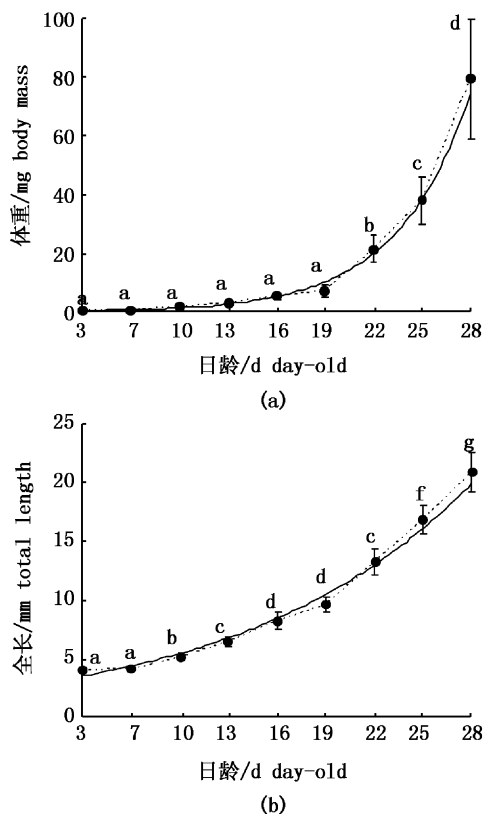


图1 梭鱼苗种全长(a)、体重(b)与日龄的关系

Fig.1 Relation between total length (a) or body mass (b) and day-old of *Liza haematocheila* larvae

## 2.2 梭鱼早期发育不同阶段消化酶活性的变化

利用本实验的研究方法,梭鱼受精卵及苗种早期发育过程中(3~28日龄)未检出脂肪酶活性,可检出胃蛋白酶、胰蛋白酶、淀粉酶、碱性磷酸酶和酸性磷酸酶等的活性,均随鱼苗的生长变化显著( $P<0.05$ )。从受精卵至仔鱼破膜后3日龄,检出消化酶(淀粉酶除外)活性均显著升高( $P<0.05$ ),胃蛋白酶活性在3~16日龄显著降低了66.9%( $P<0.05$ ),达到最低值(0.420 U/mg),16日龄后,其活性逐渐增强,至28日龄达

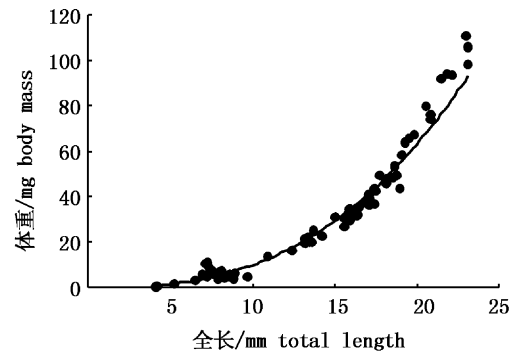


图2 梭鱼苗全长与体重的关系

Fig.2 Relation between total length and body mass of *Liza haematocheila* larvae

到最大值(1.299 U/mg,图3a);胰蛋白酶活性在3日龄后持续升高,至10日龄达到最大值(3049.43 U/mg),此后其活性不断降低,至19日龄达到波谷,谷值为1337.66 U/mg(图3b);淀粉酶活性在3~10日龄显著升高了345.8%( $P<0.05$ ),10日龄达到波峰,峰值为0.64 U/mg,然后至28日龄,淀粉酶活性呈先下降后上升趋势,波谷出现在19日龄(0.21 U/mg),在28日龄达到最大值(1.19 U/mg,图3c);碱性磷酸酶和酸性磷酸酶活性在3~7日龄分别迅速升高了290.2%和109.5%( $P<0.05$ ),之后碱性磷酸酶活性不断降低( $P<0.05$ ),至22日龄达到波谷(图3d),而同期酸性磷酸酶活性则保持稳定( $P>0.05$ ,图3e),两种酶的活性均在22~28日龄缓慢升高。

## 3 讨论

### 3.1 梭鱼苗的生长特点与营养转换

鱼类体长和体重关系可反映鱼体的营养状况和生长状态及趋势<sup>[12]</sup>。研究表明,用Keys公式( $W=aL^b$ )可较好表达鱼类体长-体重关系,其中 $b$ 值可判断鱼类的生长模式, $b=3$ ,为等速生长, $b\neq 3$ 为异速生长<sup>[13]</sup>,许多因素可导致 $b$ 值改变,如发育阶段、性别和种群等<sup>[14]</sup>,研究发现<sup>[12-13]</sup>,幼鱼阶段 $b$ 值多低于3,呈强异速生长,随着鱼的生长,异速生长减弱,趋向均匀生长。本试验,梭鱼早期发育过程中 $b=2.6671$ ,与上述报道相符,表明梭鱼苗在3~28日龄呈异速生长,从图1可见,全长、体重与日龄虽具有相似的生长模型,然两者分别在7日龄和22日龄达到显著增长,这种差异导致了梭鱼苗体重(体积)与全

长的不均匀增长,呈现异速生长模式。

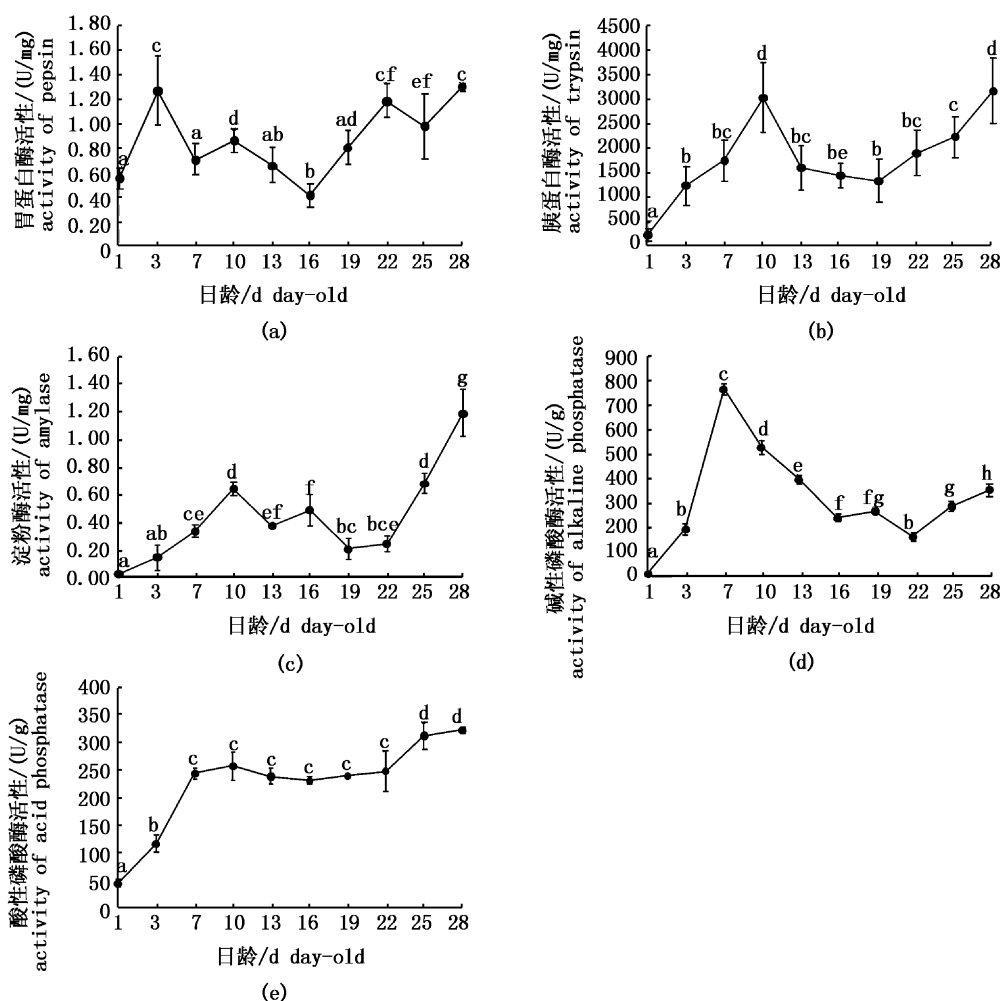


图3 梭鱼苗不同发育阶段消化酶活性变化

Fig.3 Changes of digestive enzyme activities in *Liza haematocheila* larvae at different developmental stages

本实验中梭鱼苗在3~19日龄全长的增长速度要快于体重的增长速度,且在3~7日龄,全长与体重的增长均不显著(图1),这主要是因为早期梭鱼生长主要依靠卵黄进行,没有或少量摄入外源营养物质造成的;伴随对外源营养的适应、摄入及吸收的过程,8~10日龄全长增长显著,且全长与体重的平均日增长较3~7日龄有较大幅度增加。由此可推测,3~7日龄为梭鱼由内源性营养向外源性营养转化的关键时期,而8~10日龄,则为其逐步适应外源营养并逐步加快外源营养吸收的时期。对海水鱼类的研究发现,仔稚鱼在由内源性营养向外源性营养转换时面临着营养不足、体内所需的主要消化酶的mRNA转录水平下降等不利因素,进而使鱼体内消化酶

活性下降,并导致仔稚鱼消化能力出现一定程度减弱,使育苗过程中鱼苗死亡率增加<sup>[15-17]</sup>,这可能是梭鱼苗各主要消化酶活性从10日龄开始不同程度降低(图2),且在育苗生产中10日龄后苗种死亡增加的原因。

### 3.2 梭鱼苗消化酶活性变化及营养需求

鱼类在早期发育过程中,伴随消化器官的形成完善,各种消化腺体出现,分泌多种消化酶,并在鱼类生长各阶段存在一定的差异<sup>[18-19]</sup>。鱼体内消化酶活性强弱是决定其对内源性或外源性营养的消化吸收能力强弱的重要因素。目前,已有大量关于鱼类早期发育过程中消化酶活性变化的研究,如古巴雀鳝(*Atractosteus tristoechus*)<sup>[3]</sup>、塞内加尔鳎(*Solea senegalensis*)<sup>[4]</sup>、

金头鲷 (*Sparus aurata*)<sup>[5]</sup>、狭鳕 (*Theragra chalcogramma*)<sup>[6]</sup>、大弹涂鱼 (*Boleophthalmus pectinirostris*)<sup>[20]</sup>、匙吻鲟 (*Polyodon spathula*)<sup>[2]</sup>、菊黄东方鲀 (*Takifugu flavidus*)<sup>[7]</sup>等。研究认为,对仔稚鱼消化酶活性的研究不仅可用来推测仔稚鱼的生长、存活和发育情况,亦可用来评估仔稚鱼对某种特定营养的消化、吸收情况,进而指导仔稚鱼时期营养搭配<sup>[4]</sup>。

本实验中梭鱼受精卵和早期发育过程中(3~28日龄)可检测到胃蛋白酶、胰蛋白酶、淀粉酶、碱性磷酸酶和酸性磷酸酶的活性,表明梭鱼仔鱼消化酶活性并非外源性饵料所致,消化酶种类也不受摄取食物的影响,受精卵携带的消化酶原可能来自卵子本身,并受到遗传因子的影响<sup>[21-22]</sup>。从受精卵至3日龄,各消化酶活性均不同程度升高,这可能是由于内源性营养向外源性营养转化前,仔鱼在食物摄取前做出提升自身消化能力的准备<sup>[22]</sup>。胃蛋白酶的出现与鱼类的胃器官和胃腺形成直接相关<sup>[23-24]</sup>。研究表明,胃的消化功能发育成熟后,蛋白质的消化主要依赖于胃的酸性消化,碱性蛋白酶的活性将逐渐降低<sup>[3]</sup>。菊黄东方鲀在早期发育(2~6日龄)过程中,伴随胃的形成和发育,胃蛋白酶活性快速升高,而胰蛋白酶活性则显著降低<sup>[7]</sup>。梭鱼仔鱼胃蛋白酶活性在3日龄达到最大值,之后快速降低,胰蛋白酶活性则快速升高,说明梭鱼胃器官与胃腺在3日龄或更早即已形成,之后伴随梭鱼仔稚鱼对营养的摄入与快速生长,胃蛋白酶活性显著降低,这可能因梭鱼体内可溶性蛋白酶含量大量增加,而胃蛋白酶的分泌未成比例增加造成的<sup>[7,25]</sup>。16日龄后,胃蛋白酶活性快速升高,表明梭鱼胃器官与胃腺逐渐发育成熟,酶分泌能力增强,而胰蛋白酶活性亦于19日龄后快速升高,势必提高梭鱼苗对蛋白的消化吸收能力,加快其生长(图1)。

鱼类苗种培育一般用浮游动物作为幼鱼的主要食物来源,但随着苗种需求量和浮游动物培育成本的增加,依赖活饵进行苗种培育成为制约鱼类养殖业发展的瓶颈<sup>[25]</sup>。利用适宜的微粒饲料部分或完全替代鱼苗开口饵料,可有效解决活饵不足或成本过高的问题。对多数种类而言,胃蛋白酶的缺失是鱼苗早期培育阶段使用微粒饲料替代活饵的重要限制性因素<sup>[2,26]</sup>。本实验,3

日龄即可检测到较高的胃蛋白酶活性,且梭鱼仔稚鱼胃从16日龄后逐渐发育成熟。因此,为解决梭鱼苗种培育阶段活饵的不足及降低培育成本,梭鱼仔鱼开口即可搭配活饵投喂少量微粒饲料,至16日龄可用微粒饲料逐步完全取代活饵,并可通过在饲料中添加某些酶添加剂或免疫增强剂来增强苗种消化吸收能力与免疫功能。此结论尚需进一步实验来证明。

鱼类脂肪主要来自对饲料中脂肪的直接吸收以及饲料中过量蛋白质和碳水化合物在肝脏中转化合成<sup>[27]</sup>。研究表明,饲料中脂肪水平的过度增加会导致梭鱼 (*Chelon haematocheilus*)<sup>[10]</sup>肝脏脂肪含量升高。本实验,在梭鱼早期发育过程中未检测到脂肪酶活性,可能是因其活性低于本实验方法的检测限,同时也说明梭鱼仔稚鱼对脂肪的消化吸收能力弱,饵料中脂肪含量过高,会导致仔稚鱼出现“营养性脂肪肝”,故梭鱼苗种培育阶段应选择投喂脂肪含量低的饵料,今后开发其开口微粒饲料时也需降低脂肪的含量。

梭鱼仔鱼在开口前即具有较低的淀粉酶活性,这与条石鲷 (*Oplegnathus fasciatus*)<sup>[15]</sup>、日本黄姑鱼 (*Nibea japonica*)<sup>[22]</sup>、匙吻鲟 (*Polyodon spathula*)<sup>[2]</sup>、金头鲷 (*Sparus aurata*)<sup>[5]</sup>、斑带副鲈 (*Paralabrax maculatofasciatus*)<sup>[25,28]</sup>相似,而细点牙鲷 (*Dentex dentex*)<sup>[29]</sup>、鳊鱼 (*Parabramis pekinensis*)<sup>[30]</sup>、塞内加尔鲷 (*solea senegalensis*)<sup>[4]</sup>、古巴雀鲷 (*Atractosteus tristoechus*)<sup>[3]</sup>、菊黄东方鲀 (*Takifugu flavidus*)<sup>[7]</sup>等在开口前即具有较高的淀粉酶活性。这种差异主要与鱼的种类和食性倾向有关<sup>[15]</sup>。10日龄后,梭鱼淀粉酶活性逐渐降低,这可能与营养转化过程中的不适应、体内淀粉酶 mRNA 转录水平下降<sup>[16,31]</sup>以及丰年虫的大量摄入有关<sup>[32]</sup>;22~28日龄,淀粉酶活性快速升高,这可能主要与梭鱼自身的营养需求及其向偏植物食性转化有关<sup>[15]</sup>,可考虑在这一期间投喂高碳水化合物水平的饲料,促进梭鱼对碳水化合物的利用,以达到节约蛋白的目的。

磷酸酶是肠壁消化酶的一种,可参与营养代谢、矿化作用、肠道转运和磷酸化蛋白水解<sup>[2]</sup>,根据磷酸酶活性的变化,可用于判断仔稚鱼肠道的发育情况<sup>[2,7]</sup>。有研究指出,磷酸酶活力快速增加时,预示着肠道发育渐趋成熟<sup>[3-4,25]</sup>。3~7日龄,梭鱼仔鱼两种磷酸酶活性快速增加,表明此

时期为梭鱼仔鱼肠道快速发育期,7~22日龄,由于梭鱼仔稚鱼可溶性蛋白含量的快速增加,导致碱性蛋白酶活性的降低,而酸性磷酸酶活性则保持稳定,这也说明肠道的发育仍在不断完善之中,22日龄后,随着梭鱼进入幼鱼期,两种磷酸酶活性均显著增强,肠道的发育也趋于成熟,肠道对食物的容纳能力增强,对食糜的机械消化效率提高,加强了幼鱼对摄取饵料的消化吸收,并体现在鱼体的生长速度上,26~28日龄,梭鱼全长、体重平均日增长达到最大。

### 参考文献:

- [1] RATHORE R M, KUMAR S, CHAKRABARTI R. Digestive enzyme patterns and evaluation of protease classes in *Catla catla* (Family: Cyprinidae) during early developmental stages[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2005, 142(1): 98-106.
- [2] 吉红,孙海涛,田晶晶,等.匙吻鲟仔稚鱼消化酶发育的研究[J].水生生物学报,2012,36(3):1-9.  
JI H, SUN H T, TIAN J J, et al. Digestive enzyme activity during early larval development of the paddlefish *Polyodon spathula*[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, 36(3): 1-9.
- [3] COMABELLA Y, MENDOZA R, AGUILERA C, et al. Digestive enzyme activity during early larval development of the Cuban gar *Atractosteus tristoechus*[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2006, 32(2): 147-157.
- [4] MARTÍNEZ I, MOYANO F J, FERNÁNDEZ-DÍAZ C, et al. Digestive enzyme activity during larval development of the Senegal sole (*Solea senegalensis*) [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1999, 21(4): 317-323.
- [5] MOYANO F J, DÍAZ M, ALARCÓN F J, et al. Characterization of digestive enzyme activity during larval development of gilthead seabream (*Sparus aurata*) [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1996, 15(2): 121-130.
- [6] OOEZKI Y, BAILY K M. Ontogenetic development of digestive enzyme activities in larval walleye Pollock, *Theragra chalcogramma* [J]. *Marine Biology*, 1995, 122(2): 177-186.
- [7] 刘永士,施永海,张根玉,等.菊黄东方鲀仔稚鱼生长及其消化酶与抗氧化酶活性[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2014,40(6):688-696.  
LIU Y S, SHI Y H, ZHANG G Y, et al. Growth, digestive enzyme and antioxidant enzyme activities of tawny puffer (*Takifugu flavidus*) larvae [J]. *Journal of Zhejiang University: Agriculture & Life Sciences*, 2014, 40(6): 688-696.
- [8] 张春暖,王爱民,刘文斌,等.饲料脂肪水平对梭鱼脂肪沉积、脂肪代谢酶及抗氧化酶活性的影响[J].中国水产科学,2013,20(1):108-115.  
ZHANG C N, WANG A M, LIU W B, et al. Effects of dietary lipid levels on fat deposition, lipid metabolize enzyme and antioxidant activities of *Chelon haematocheilus* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(1): 108-115.
- [9] 雷霖霖.梭鱼(*Mugil So-iug Basilewsky L.*)胚胎和仔、稚、幼鱼发育的研究[J].海洋学报,1979,1(1):157-175.  
LEI J L. The developmental stages of mullet *Mugil So-iug Basilewsky* [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1979, 1(1): 157-175.
- [10] 张春暖,王爱民,刘文斌,等.饲料脂肪水平对梭鱼生长、营养物质消化及体组成的影响[J].江苏农业学报,2012,28(5):1088-1095.  
ZHANG C N, WANG A M, LIU W B, et al. Effects of dietary lipid levels on growth, nutrient digestibility and body composition of *Chelon haematocheilus* [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 28(5): 1088-1095.
- [11] 线薇薇,朱鑫华.摄食水平对梭鱼的生长和能量收支的影响[J].海洋与湖沼,2001,32(6):612-620.  
XIAN W W, ZHU X H. Effect of ration size on the growth and energy budget of the mullet *Liza Haematocheila* (T. ET S.) [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, 32(6): 612-620.
- [12] 牟希东,王培欣,胡隐昌,等.亚洲龙鱼形态结构及幼鱼生长特性[J].水产学报,2010,34(9):1379-1386.  
MU X D, WANG P X, HU Y C, et al. Morphological structure and growth characteristics of juvenile Asian arowana (*Scleropages formosus*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(9): 1379-1386.
- [13] 黄真理,常剑波.鱼类体长与体重关系中的分形特征[J].水生生物学报,1999,23(4):330-336.  
HUANG Z L, CHANG J B. Fractal characteristics of length-weight relationship in fish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, 23(4): 330-336.
- [14] 张国政,李显森,朱建成,等.黄海西南部小黄鱼当年幼鱼生长特征的研究[J].渔业科学进展,2010,31(3):15-22.  
ZHANG G Z, LI X S, ZHU J C, et al. The growth characteristics of small yellow croaker *Larimichthys polycatis* (Bleeker, 1987) underyearling in the central and southern Yellow Sea [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2010, 31(3): 15-22.
- [15] 尹彦强,傅荣兵,黄旭雄,等.条石鲷仔稚鱼发育过程中消化酶活性的变化[J].上海海洋大学学报,2011,20(1):56-62.  
YIN Y Q, FU R B, HUANG X X, et al. The variations of digestive enzyme activities during the development of *Oplegnathus fasciatus* larvae [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2011, 20(1): 56-62.
- [16] MA P, SIVALOGANATHAN B, REDDY P K, et al.

- Ontogeny of  $\alpha$ -amylase gene expression in sea bass larvae (*Lates calcarifer*) [J]. *Marine Biotechnology*, 2001, 3(5): 463–469.
- [17] RIBEIRO L, ZAMBONINO-INFANTE J L, CAHU C L, et al. Development of digestive enzymes in larvae of *Solea senegalensis* (Kaup 1858) [J]. *Aquaculture*, 1999, 179(1/4): 465–473.
- [18] BUDDINGTON R K. Digestive secretions of lake sturgeon, *Acipenser fulvescens*, during early development [J]. *Journal of Fish Biology*, 1985, 26(6): 715–723.
- [19] GOVONI J J, BOEHLERT G W, WATANABE Y W. The physiology of digestion in fish larvae [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1986, 16(1/3): 59–77.
- [20] 吴仁协, 洪万树, 张其永, 等. 大弹涂鱼仔稚鱼和早期幼鱼的消化酶活性 [J]. *水产学报*, 2006, 30(6): 733–739.
- WU R X, HONG W S, ZHANG Q Y, et al. Digestive enzyme activities in larval, juvenile and early young fish of *Boleophthalmus pectinirostris* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30(6): 733–739.
- [21] CURIER-PÉRES A, KESTEMONT P. Development of some digestive enzymes in Eurasian perch larvae *Perca fluviatilis* [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2001, 24(4): 279–285.
- [22] 孙敏, 柴学军, 许源剑, 等. 日本黄姑鱼早期发育过程中消化酶活性变化研究 [J]. *上海海洋大学学报*, 2012, 21(6): 965–970.
- SUN M, CHAI X J, XU Y J, et al. Assessment of digestive enzymes activities during the early development of *Nibea japonica* [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2012, 21(6): 965–970.
- [23] 席文秋, 刘谔, 宋晶. 蓝宝石鱼仔稚鱼发育过程中各消化酶活性变化的研究 [J]. *齐鲁渔业*, 2009, 26(8): 3–6.
- XI W Q, LIU X, SONG J. Digestive enzyme activity during early larval development of *Geophagus jurupari* [J]. *Shandong Fishery*, 2009, 26(8): 3–6.
- [24] 李芹, 龙勇, 屈波, 等. 瓦氏黄颡鱼仔稚鱼发育过程中消化酶活性变化研究 [J]. *中国水产科学*, 2008, 15(1): 73–78.
- LI Q, LONG Y, QU B, et al. Assessment of digestive enzymes activities during larval development of *Pelteobagrus vachelli* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(1): 73–78.
- [25] ALVAREZ-GONZÁLEZ C A, MOYANO-LÓPEZ F J, CIVERA-CERECEDO R, et al. Development of digestive enzyme activity in larvae of spotted sand bass *paralabrax maculatofasciatus* I: Biochemical analysis [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2008, 34(4): 373–384.
- [26] KOLKOVSKI S. Digestive enzymes in fish larvae and juveniles-implications and applications to formulated diets [J]. *Aquaculture*, 2001, 200(1/2): 181–201.
- [27] 宋理平, 韩勃, 冒树泉, 等. 脂肪水平对厚唇弱棘鲷生长及肠道脂肪酶活性的影响 [J]. *广东海洋大学学报*, 2010, 30(1): 13–17.
- SONG L P, HAN B, MAO S Q, et al. Effects of dietary lipid levels on growth and lipase activities of sooty grunter, *Hephaestus fuliginosus* [J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2010, 30(1): 13–17.
- [28] ALVAREZ-GONZÁLEZ C A, MOYANO-LÓPEZ F J, CIVERA-CERECEDO R, et al. Development of digestive enzyme activity in larvae of spotted sand bass *paralabrax maculatofasciatus* II: Electrophoretic analysis [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2010, 36(1): 29–37.
- [29] GISBERT E, GIMÉNEZ G, FERNÁNDEZ I, et al. Development of digestive enzymes in common dentex *Dentex dentex* during early ontogeny [J]. *Aquaculture*, 2009, 287(3/4): 381–387.
- [30] CARA J B, MOYNAO F J, CÁRDENAS S, et al. Assessment of digestive enzyme during larval development of white bream [J]. *Journal of Fish Biology*, 2003, 63(1): 48–58.
- [31] DOUGLAS S E, MANDLA S, GALLANT J W. Molecular analysis of the amylase gene and its expression during the development in the winter flounder, *Pleuronectes americanus* [J]. *Aquaculture*, 2000, 190(3/4): 247–260.
- [32] COUSIN J C B, BAUDIN-LAURENCIN F, GABAUDAN J. Ontogeny of enzymatic activities in fed and fasting turbot, *Scophthalmus maximus* L. [J]. *Journal of Fish Biology*, 1987, 30(1): 15–33.

## Studies on growth and digestive enzyme activities during the early development of *Liza haematocheila*

LIU Yongshi<sup>1,2</sup>, ZHANG Haiming<sup>1,2</sup>, SHI Yonghai<sup>1,2</sup>, XIE Yongde<sup>1,2</sup>, LU Genhai<sup>1,2</sup>, LIU Jianzhong<sup>1,2</sup>, SHUI Chun<sup>1,2</sup>

(1. Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai 200433, China; 2. Shanghai Fisheries Technical Extension Station, Shanghai 200433, China)

**Abstract:** In this study, fertilized eggs and 3–28 day-old larvae of *Liza haematocheila* were selected as the research objects. The growth characteristics and changing trends of main digestive enzymes were researched. The relationship between total length or body mass and day old could be fixed to the exponential functions. The general correlation equation of total length and body mass was power function under artificial farming conditions, and the growth (in mass) in relation to total length was allometric. The activities of trypsin, pepsin, amylase, alkaline phosphatase and acid phosphatase could be detected in all test samples, while lipase activity could not be detected. Enzymes (except pepsin) activities were the lowest in fertilized eggs. Pepsin activity showed a rapid decrease from 3 to 16 day-old, and reached to the minimum level at 16day-old. Meanwhile, trypsin activity increased significantly at first, and reached the maximum level at 10 day-old, then began to decrease. Both pepsin and trypsin activities increased significantly from 16 day-old ( $P < 0.05$ ), and reached the maximum levels at 28 day-old. Amylase activity increased from 3 to 10 day-old and 22 to 28 day-old, respectively, and reached the maximum at 28 day-old. Both alkaline phosphatase and acid phosphatase activities increased significantly from 3 to 7 day-old ( $P < 0.05$ ). Alkaline phosphatase activity decreased from 7 to 22 day-old, while acid phosphatase activity remained stable. Alkaline phosphatase and acid phosphatase activities reached the maximum levels at 7 and 8 day-old, respectively. In conclusion, digestive enzymes were not caused by exogenous bait, and the activities were closely related to development stage and also were affected by external environment and feeding habit in different degrees.

**Key words:** *Liza haematocheila*; ontogenesis; growth; digestive enzyme; nutrient requirement