

短期饥饿胁迫下鳊鱼(*Miichthys miui*)早期生活阶段的生长及消化酶活性研究*

单秀娟^{1,2} 窦硕增¹

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071;

2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

提要 采用实验生态学方法,研究了饥饿胁迫对鳊鱼(1—7 日龄前期仔鱼, 26—35 日龄后期仔鱼, 42—53 日龄稚鱼)的生长、存活及消化酶(淀粉酶、脂肪酶、胰蛋白酶)活性的变化。结果表明,短期饥饿(2 天)会显著降低前期仔鱼生长及消化酶活性;在后期仔鱼和稚鱼中,产生这种影响的饥饿时间分别为饥饿后 3 和 6 天,表明鳊鱼仔、稚鱼的生长与消化酶活性对饥饿的忍受能力随发育生长而增强。恢复摄食 5 天后,饥饿 4 天的后期仔鱼和饥饿 6 天的稚鱼消化酶活性可达到正常水平,但饥饿 6 天的后期仔鱼的消化酶活性不能从饥饿损伤中恢复。饥饿 4—6 天的后期仔鱼和稚鱼的生长在恢复摄食后均未达到正常投喂组个体的生长水平,表明恢复摄食后其生长恢复过程滞后于消化酶活性。鳊鱼仔、稚鱼的生长和消化酶活性可作为评价其遭受的饥饿程度和营养状况的指标。

关键词 鳊鱼仔、稚鱼, 生长存活, 消化酶活性, 耐饥饿能力, 恢复摄食

中图分类号 S965.324

鱼类在生长发育过程中,由于受自身的摄食能力、食物可获度及其它环境因素的影响而经常遭受不同程度的饥饿(殷名称, 1991; Leggett *et al*, 1994; Yú fera *et al*, 2007)。在仔、稚鱼阶段,即使短期饥饿也可能引起鱼类的消化系统发育迟缓和消化酶活性降低、食物转化效率低下、营养状况不良等问题,从而影响鱼类的正常发育、生长和存活(Theilacker, 1986; Gwak *et al*, 1999; Gisbert *et al*, 2003; Yú fera *et al*, 2007)。鱼类抗饥饿能力不但因种类而异,而且不同个体发育阶段也明显不同(Yú fera *et al*, 2007)。因此,研究鱼类在不同发育阶段的饥饿过程及其对仔、稚鱼生长存活的影响是揭示鱼类资源补充机制的一个关键科学问题(Leggett *et al*, 1994)。

一些文献已对国内外关于饥饿胁迫下仔鱼的摄食与生长存活的研究做过分析(殷名称, 1991; 单秀娟等, 2008; McGurk, 1984; Dou *et al*, 2002, 2005; Yú

fera *et al*, 2007)。其它研究包括饥饿胁迫下仔鱼形态学发育过程(Ehrlich *et al*, 1976; Bisbal *et al*, 1995; Dou *et al*, 2002, 2005)、消化器官的组织学发育过程(Ehrlich *et al*, 1976; Theilacker, 1986; Theilacker *et al*, 1995; Gwak *et al*, 1999; Gisbert *et al*, 2003)、消化酶发生过程(高露皎等, 2004; Bolasina *et al*, 2006; Chen *et al*, 2006; Shan *et al*, 2009a)、体成分生化组成变化(殷名称等, 1993; 单秀娟等, 2008; Richard *et al*, 1991)和免疫学应答机制等(钱云霞等, 2002; Pascual *et al*, 2006)。消化酶的发生直接关系到鱼类仔、稚鱼的消化功能发育状况,其活性随着鱼类的发育、营养状况和其他环境因素的变化而变化。因此,消化酶活性分析已成为评价鱼类仔、稚鱼营养水平的一种重要方法(田宏杰等, 2006)。其中,蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶在鱼类的蛋白质、碳水化合物和脂肪消化和吸收过程中起着关键性作用。因此,这些消化酶的活性常被用作

* 国家重点基础研究发展计划项目(973)资助, 2007CB407305 号; 国家自然科学基金委员会“创新研究群体科学基金”资助, 40821004 号; 中国科学院知识创新工程重要方向项目群项目, KZCX2-YW-Q07-02 号。单秀娟, 博士, E-mail: shanxiujuan@gmail.com

通讯作者: 窦硕增, 博士, 研究员, E-mail: szdou@qdio.ac.cn

收稿日期: 2010-05-17, 收修改稿日期: 2010-07-25

判定鱼类消化系统发育及营养状况的标志性指标(高露姣等, 2004; 田宏杰等, 2006; Ribeiro *et al.*, 1999; Zambonino-Infante *et al.*, 2001; Shan *et al.*, 2008, 2009a)。

鲢鱼是我国南方主要的增养殖鱼种之一。研究发现, 即使在饵料充足条件下, 其仔、稚鱼也经常遭受饥饿胁迫, 导致早期发育阶段的高死亡率和畸形率, 影响其人工苗种的规模化生产(单秀娟等, 2008, 2009; Shan *et al.*, 2009a, b)。本论文研究了饥饿胁迫对鲢鱼早期仔鱼、后期仔鱼及稚鱼的生长、存活及消化酶活性的影响, 以期完善鲢鱼人工繁殖技术提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 实验用鱼及饲养

试验用的鱼卵系室内饲养亲鱼的自然产卵, 在500L(约800粒卵/L)的孵化水槽中微充气孵化。海水盐度为 25 ± 1.5 , 水温为 (24 ± 1.5) , 光照12L(800—1000 lx): 12D (<1 lx)。从仔鱼孵化3天后开始投饵, 3—8日龄仔鱼投喂由酵母培养的褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*) (约10个/ml), 投喂前一天用小球藻(*Chlorella vulgaris*)强化; 9—12日龄的仔鱼投喂经DHA营养强化后的卤虫幼体(2—5个/ml); 13—25日龄的仔鱼投喂桡足类(20—30mg/ml); 26—53日龄的仔鱼投喂人工饵料。试验用的海水经砂滤处理后注入孵化水槽并通过溢流法保持水位和换水。饲养过程中每天用虹吸法清除死亡鱼个体、粪便及残饵。

1.2 实验方法

1.2.1 生长存活实验 生长实验按前期仔鱼(1—7日龄)、后期仔鱼(26—35日龄)及稚鱼(42—53日)三个发育阶段进行。各实验中均设饥饿组(处理组)和投喂组(对照组), 每个水平设三个平行组。实验水槽水体为40L, 置实验鱼密度为5尾/L。各实验组的实验用鱼均取自孵化饲养水槽。投喂组的投喂程序、饲养条件及实验管理与孵化饲养水槽(1.1节)相同。

前期仔鱼试验中, 饥饿组从初孵化后至7日龄一直不予投饵, 投喂组从3日龄开始投喂轮虫至实验结束, 每天取样。在后期仔鱼试验中, 饥饿组仔鱼从26日龄分别饥饿至30日龄和32日龄两个水平, 然后分别恢复投喂配合饵料至35日龄, 投喂组仔鱼一直投喂配合饵料, 各实验组在26、28、29、31和35日龄取样。在稚鱼试验中, 饥饿组稚鱼从42日龄饥饿至48日龄, 然后恢复投喂配合饵料至53日龄, 投喂组一直投喂配合饵料, 分别在42、44、46、48和53日

龄取样。在每个取样点, 从各水槽中取10尾鱼用于生长测定。

实验开始时从每个实验水槽中各取10尾实验鱼, 用电子天平(Sartorius BS124S)测定仔、稚鱼体重, 以其平均值为同一水槽内鱼类初始个体平均体重 W_0 (mg), 用同样方法测定实验结束时各实验水槽中实验鱼的最终个体平均体重 W_t (mg), 计算鱼类的特定生长率(SGR, %/d): $SGR = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$, 其中, t 为实验时间(d)。

存活实验方案与生长实验方案基本一致, 只是在实验过程中不进行取样。每天记数各水槽中死亡鱼类个体数, 计算鲢鱼的存活率。

1.2.2 消化酶活性实验 实验方案与生长实验方案一致。但是, 本实验的实验水槽水体为500L。在前期仔鱼试验中, 每天从各水槽取80—100尾仔鱼。后期仔鱼及稚鱼的取样点与生长实验中取样点相同, 但每次从各水槽取10—20尾鲢鱼样品。样品被取出后立即用淡水冲洗、用纸吸干体表水分后, 放入液氮中保存, 备消化酶活性分析用。

样品解冻后用电子天平(Sartorius BS124S)称取鲢鱼样品: 早期仔鱼80尾仔鱼(整体匀浆), 后期仔鱼和稚鱼各10尾(仅消化道及其消化腺)。用玻璃匀浆器(5ml)以5倍体积的0.2mol/L NaCl (W/V)匀浆, 取部分匀浆液测定脂肪酶的活力。剩余部分用冷冻离心机(Sigma 3K15, 10000r/min, 20min, 4℃)离心后, 取上清液用分光光度计(Unico, UV2102PC)测定胰蛋白酶和淀粉酶的吸光度, 然后计算其酶活力。三种消化酶活性的测定方法参照Shan等(2008)。

1.3 数据分析

利用ANOVA分别统计分析各实验的数据, 依据Tukey HSD检验来判断各实验水平或取样点之间差异的显著性, 差异显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 生长与存活

在生长实验中, 投喂组前期仔鱼从3日龄开始摄食, 体重随摄食而迅速增长, 但饥饿仔鱼从5日龄起出现负生长, 并显著低于正常投喂组仔鱼的体重($P < 0.05$; 图1A)。在后期仔鱼试验中, 饥饿组的仔鱼的体重从饥饿3天(29日龄)开始显著下降, 从恢复投喂(30日龄和32日龄)后逐渐增加, 但在实验结束时(35日龄)时, 两个饥饿水平上的仔鱼体重均显著低于投喂组仔鱼的体重($P < 0.05$; 图1B)。同样, 饥饿组稚

鱼的体重从饥饿 6 天(48 日龄)开始显著下降, 在恢复投喂期(48—53 日龄)逐渐增加, 但实验结束时尚未达到投喂组稚鱼的体重水平($P<0.05$; 图 1C)。相应地, 饥饿组的前期仔鱼呈负增长, 而饥饿组后期仔鱼(饥饿 4、6 天仔鱼的 SGR 分别为 14.5%/d、6.5%/d)和稚鱼(2.0%/d)的生长率均显著低于各自的投喂组实验鱼的生长水平(分别为 21.0%/d 和 6.7%/d; $P<0.05$)。

在存活实验中, 投喂组的前期仔鱼的存活率从开口摄食(3 日龄)至 5 日龄迅速下降, 然后维持在一

个稳定的水平上(70%—80%); 饥饿组前期仔鱼的存活率从开口摄食开始迅速下降, 并从饥饿 2 天后(5 日龄)开始显著低于投喂组仔鱼的存活率($P<0.05$; 图 2A)。实验结束时, 饥饿组仔鱼与投喂组仔鱼的存活率分别为 5%和 75%。投喂组和饥饿组后期仔鱼在饥饿 3 天后(29 日龄)的存活率分别 87%和 44%, 此后二者开始存在显著差异($P<0.05$; 图 2B)。实验结束时, 饥饿 4 天的仔鱼(30%)和 6 天的仔鱼的存活率(10%)显著低于投喂组仔鱼的存活率(75%)($P<0.05$; 图 2B)。但是,

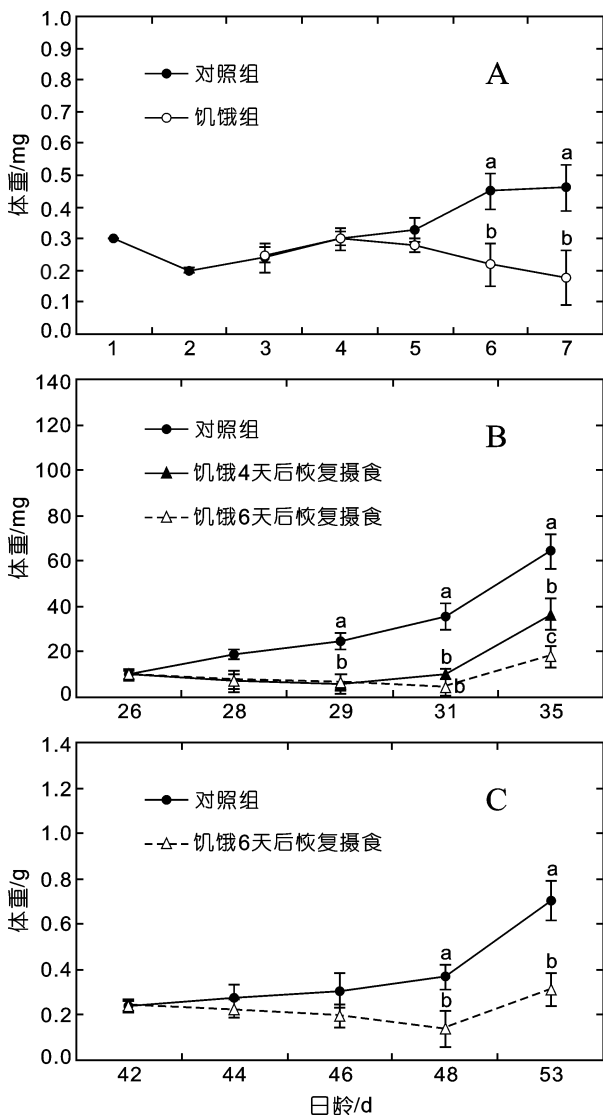


图 1 饥饿胁迫后恢复摄食后鲢鱼仔、稚鱼的体重(平均值 \pm S.D., $n=3$)变化

Fig.1 Wet weight of the miiuy croaker larvae and juveniles (means \pm S.D., $n=3$) during starvation and after feeding resumption A: 1—7 日龄前期仔鱼; B: 26—35 日龄后期仔鱼; C: 42—53 日龄稚鱼。同一日龄上的不同字母代表各平均值差异显著 ($P<0.05$), 下同

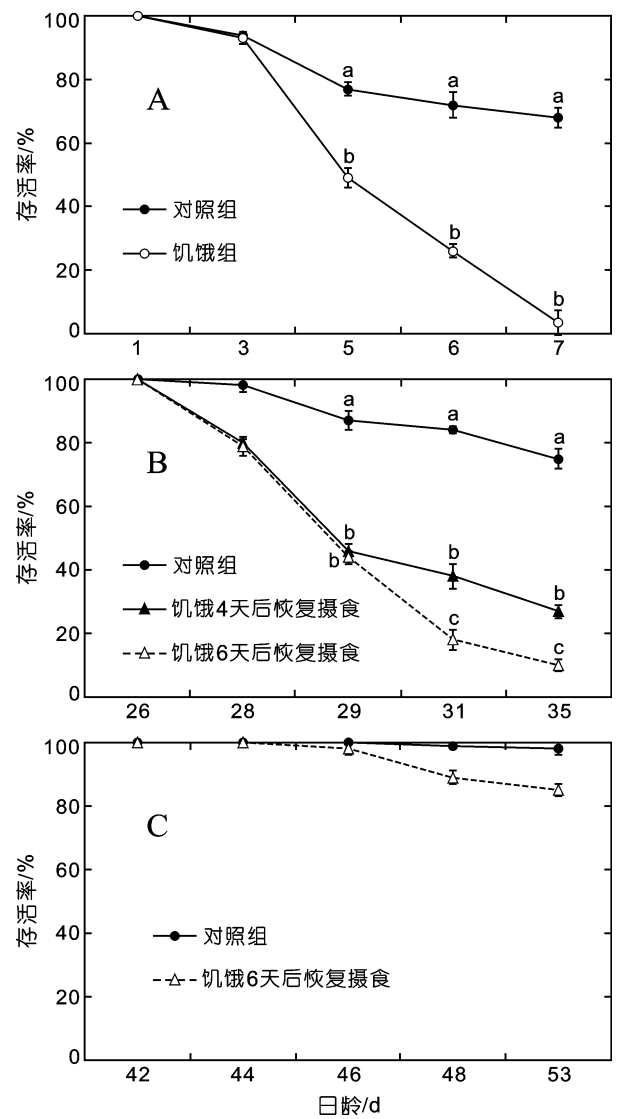


图 2 饥饿胁迫后恢复摄食后鲢鱼仔、稚鱼的存活率(平均值 \pm S.D., $n=3$)变化

Fig.2 Survival of the miiuy croaker larvae and juveniles (means \pm S.D., $n=3$) during starvation and after feeding resumption A: 1—7 日龄前期仔鱼; B: 26—35 日龄后期仔鱼; C: 42—53 日龄稚鱼

饥饿6天的稚鱼的存活率(85%)在实验过程中与投喂组稚鱼存活率(98%)无显著差异($P>0.05$; 图2C)。

2.2 消化酶活性

投喂组前期仔鱼的淀粉酶活性从3日龄(0.22U/mg protein)至4日龄(0.13U/mg protein)急剧下降, 然后逐渐增加至7日龄(0.36U/mg protein); 饥饿组仔鱼的淀粉酶活性在同期内从0.22U/mg protein迅速下降至0.02U/mg protein, 并从6日龄起显著低于投喂组仔鱼的淀粉酶活性($P<0.05$; 图3A)。投喂组前期仔鱼的脂肪酶活性从2日龄(0.10U/mg protein)至4日龄(0.20U/mg protein)逐渐升高, 然后逐渐降低至7日龄

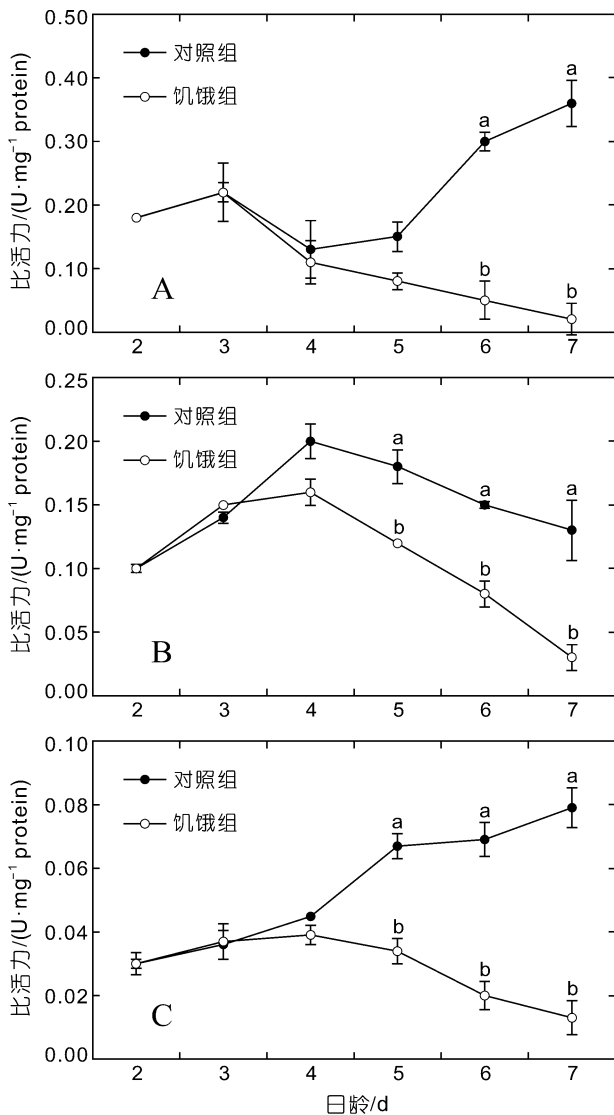


图3 饥饿胁迫下鲈鱼前期仔鱼(1—7日龄)的淀粉酶(A)、脂肪酶(B)、胰蛋白酶(C)的活性(平均值±S.D., $n=3$)变化
Fig.3 Specific activities (means±S.D., $n=3$) of amylase (A), lipase (B), and trypsin (C) of the miyu croaker pre-larvae (1—7 dph) during starvation

(0.13U/mg protein); 饥饿组仔鱼的脂肪酶活性从4日龄(0.16U/mg protein)起逐渐降低至7日龄(0.03U/mg protein), 并从5日龄起显著低于投喂组仔鱼的脂肪酶活性($P<0.05$; 图3B)。投喂组仔鱼的胰蛋白酶活性从2日龄(0.03U/mg protein)起逐渐增加至7日龄(0.08U/mg protein); 饥饿组仔鱼的胰蛋白酶活性从4日龄(0.04U/mg protein)起逐渐降低至7日龄(0.01U/mg protein), 并从5日龄起显著低于投喂组仔鱼的胰蛋白酶活性($P<0.05$; 图3C)。

投喂组后期仔鱼淀粉酶(0.16—0.20U/mg protein)、脂肪酶(0.16—0.24U/mg protein)及胰蛋白酶活性(0.12—0.15U/mg protein)在实验期间变化均不显著($P>0.05$); 饥饿组仔鱼的三种酶活性随饥饿时间延长逐渐降低, 并从饥饿3天(29日龄; 分别为0.12、0.12、0.08U/mg protein)起显著低于投喂组仔鱼的酶活性(分别为0.18、0.19、0.15U/mg protein; $P<0.05$; 图4)。从恢复投喂后, 饥饿4天组和6天组仔鱼的三种酶均逐渐升高。实验结束时, 饥饿6天组仔鱼的淀粉酶(0.11U/mg protein)、脂肪酶活性(0.12U/mg protein)和胰蛋白酶活性(0.05U/mg protein)均显著低于投喂组仔鱼的酶活性(分别为0.16、0.24、0.14U/mg protein; $P<0.05$); 而饥饿4天组仔鱼的三种酶的活性(分别为0.16、0.19、0.12U/mg protein)均达到了投喂组仔鱼的酶活性水平($P>0.05$; 图4)。

投喂组稚鱼的淀粉酶(0.17—0.20U/mg protein)、脂肪酶(0.24—0.26U/mg protein)及胰蛋白酶活性(0.10—0.12U/mg protein)在实验期间变化均不显著($P>0.05$); 饥饿组稚鱼的三种酶的活性均随饥饿时间的延长逐渐降低, 并从饥饿4天起(46日龄; 分别为0.12、0.19、0.06U/mg protein)显著低于投喂组稚鱼的酶活性(分别为0.20、0.27、0.11U/mg protein)存在显著差异($P<0.05$; 图5)。从恢复投喂(48日龄)起, 稚鱼的三种酶的活性均呈逐渐升高趋势。实验结束时, 饥饿组稚鱼的淀粉酶(0.16U/mg protein)、脂肪酶(0.22U/mg protein)及胰蛋白酶活性(0.10U/mg protein)均恢复至投喂组稚鱼的酶活性水平(分别为0.18、0.26、0.12U/mg protein; $P>0.05$; 图5)。

3 讨论

3.1 仔、稚鱼的存活生长对短期饥饿的耐受能力

鱼类的早期存活受其自身生理因素和外界环境因素的多重影响。在初次摄食阶段, 仔鱼必须在卵黄囊吸收完毕、开口摄食后的一定时间即不可逆转的饥

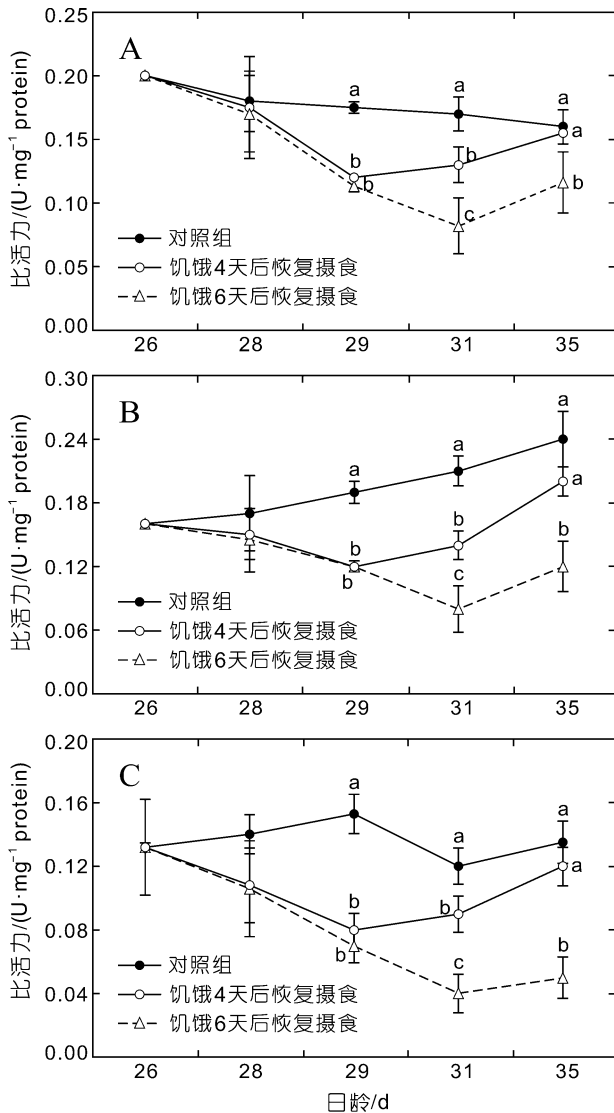


图4 饥饿胁迫和恢复摄食后鲢鱼后期仔鱼(26—35日龄)的淀粉酶(A)、脂肪酶(B)、胰蛋白酶(C)的活性(平均值±S.D., $n=3$)变化

Fig.4 Specific activities (means±S.D., $n=3$) of amylase (A), lipase (B), and trypsin (C) of the miuiy croaker post-larvae (26—35 dph) during starvation and after feeding resumption

饿点(PNR)内具备正常摄食功能并建立外源性营养机制。否则,即使在合适的外部摄食条件下,仔鱼也会遭受饥饿并导致其存活能力的下降。当饥饿时间超过PNR时,仔鱼会发生大规模死亡(殷名称,1991; McGurk, 1984; Dou *et al.*, 2005; Yü fera *et al.*, 2007)。对于这一问题,单秀娟等(2008)对国内外51种仔鱼的相关研究做过详细分析。结果表明,这些鱼类的初次摄食仔鱼在各自正常发育水温条件下忍受饥饿死亡的能力(PNR)因鱼种而异,约在卵黄囊吸收后0.5—16天之内。在本实验中,鲢鱼前期仔鱼的存活率从饥饿

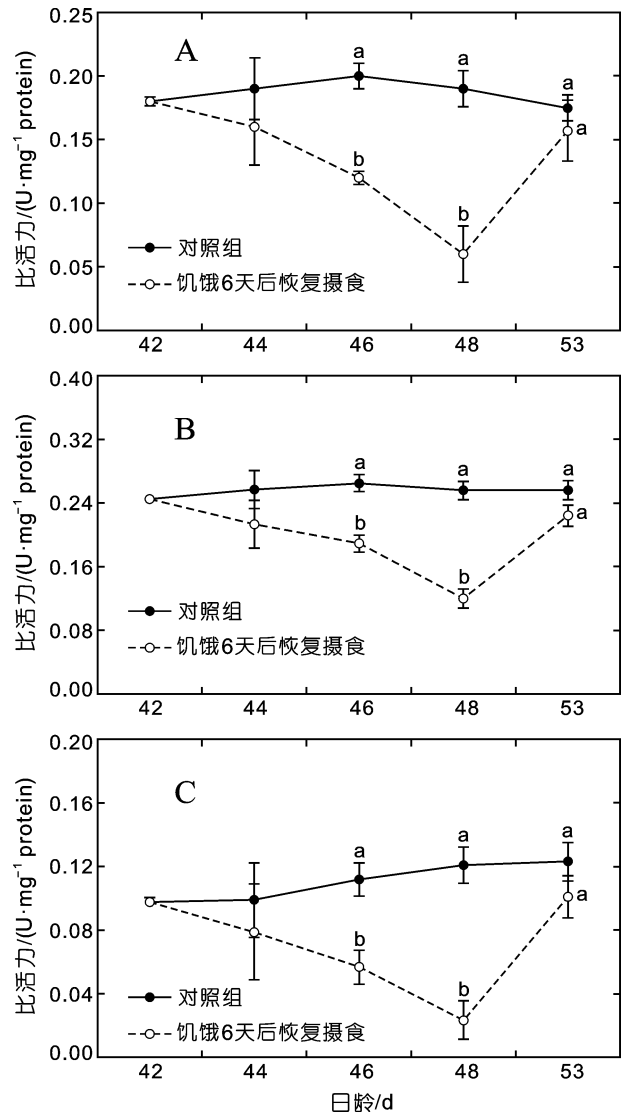


图5 饥饿胁迫和恢复摄食后鲢鱼稚鱼(42—53日龄)的淀粉酶(A)、脂肪酶(B)、胰蛋白酶(C)的活性(平均值±S.D., $n=3$)变化

Fig.5 Specific activities (means±S.D., $n=3$) of amylase (A), lipase (B), and trypsin (C) of the miuiy croaker juveniles (42—53 dph) during starvation and after feeding resumption

2天(5日龄)起显著低于正常摄食仔鱼,早于PNR(6日龄;单秀娟等,2008)1天。后期仔鱼的存活率从饥饿3天起与正常摄食仔鱼出现显著差异。但是,即使饥饿6天对稚鱼的存活率也没有显著影响。这说明鲢鱼早期仔鱼的存活能力对饥饿非常敏感,但随着个体生长发育,其存活对饥饿的忍受能力逐渐增强。与其他的闭鳔性鱼类如金头鲷 *Sparus aurata*、狼鲈 *Dicentrarchus labrax* 一样(Chatain *et al.*, 1989, 1990),鲢鱼仔鱼在初次摄食后通过吞咽空气来完成鳔的充气。鳔的充气是否成功与仔鱼的营养状况密切相关。

饥饿会引起仔鱼营养状况恶化并导致仔鱼不能完成正常鳔充气,从而加剧仔鱼的直接死亡(Battaglione *et al.*, 1992; Chatain *et al.*, 1989; Tandler *et al.*, 1996)。通过组织学研究,作者发现在饥饿胁迫下,鲢鱼早期仔鱼的鳔一般表现出发育迟缓、不能正常充气等特征(未发表数据)。因此,鲢鱼早期仔鱼的高死亡率可能与饥饿胁迫下其鳔的发育异常有关。另外,早期仔鱼在发育过程中除了保证有维持生命所必需的能量外,还会消耗更多的能量用于器官的发育。因此,与已经完成主要器官发育的后期仔鱼和稚鱼相比,前期仔鱼的存活能力对饥饿或其他环境条件的变化更敏感。

早期仔鱼阶段的饥饿胁迫如延迟投饵会引起鱼类形态发育畸形及消化系统功能的发育迟缓,从而导致其摄食能力、营养消化吸收效率降低,影响其早期正常发育生长。这一现象在很多鱼类如金头鲷、北美牙鲆 *Paralichthys californicus*、夏鲆 *P. dentatus*、牙鲆 *P. olivaceus*、斑带副鲈 *Paralabrax maculatofasciatus*、西伯利亚鲟 *Acipenser baerii*、绿鲟 *Acipenser medirostris* 中均有报道(Yú fera *et al.*, 1993; Bisbal *et al.*, 1995; Gisbert *et al.*, 1997, 2003; Dou *et al.*, 2002, 2005; Peña *et al.*, 2005)。在 24 ℃ 水温下,延迟投饵 1 天就会引起开口摄食阶段的鲢鱼仔鱼的形态发育迟缓、摄食能力低下等问题,而这种短期饥饿胁迫经历会一直影响至其后期发育阶段的营养状况及生长(单秀娟等, 2008)。本实验中的饥饿早期仔鱼的生长从饥饿 3 天起显著低于正常投喂仔鱼的生长。后期仔鱼的生长从饥饿 3 天起开始显著低于正常投喂仔鱼生长,在恢复摄食 6 天后尚达不到正常投喂仔鱼的生长水平。稚鱼在饥饿 6 天后与正常投喂稚鱼存在显著的生长差异,在恢复摄食 5 天后也达不到正常投喂仔鱼的生长水平。这说明鲢鱼仔、稚鱼的生长对短期饥饿非常敏感,但随着仔、稚鱼的发育生长,饥饿对其生长的影响逐渐降低,表明鲢鱼的耐饥饿能力随其发育生长逐渐增强。鲢鱼仔、稚鱼的生长在恢复摄食后具有一定的恢复能力,但其是否与其它一些鱼类(如牙鲆)一样,在饥饿一段时间恢复摄食后发生补偿甚至超补偿生长现象(Bolasina *et al.*, 2006),尚有待进一步研究。

3.2 仔、稚鱼的消化酶活性对短期饥饿胁迫的应答

鲢鱼仔鱼的淀粉酶、脂肪酶、胰蛋白酶在 2 日龄时已具活性,并在开口摄食阶段显著升高。类似结果也存在于其它一些海水鱼类如牙鲆、黄尾鲷 *Seriola lalandi* 的仔鱼中(Kurokawa *et al.*, 1996; Chen *et al.*, 2006)。这表明初次摄食仔鱼在消化生理方面已经具

备了接受外源食物的能力。但是,处在该发育阶段的仔鱼消化系统的功能还不完善,如:缺少功能性的胃,肠道也没有分化。因此,胰蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶在早期仔鱼的食物消化和吸收中起着重要作用。仔鱼在正常发育生长过程中,其主要消化酶的活性一般表现出逐步升高的趋势;但在饥饿或营养不良状态下,消化酶的活性会随饥饿时间延长而迅速降低(Zambonino-Infante *et al.*, 1994; Ribeiro *et al.*, 1999; Bolasina *et al.*, 2006)。因此,这些消化酶活性的变化可以用作评价仔鱼发育生长和营养状况的重要生理指标。

在本实验中,即使短期的饥饿也会显著降低不同早期发育阶段的鲢鱼的胰蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶的活性。从开口摄食后饥饿 2 天起,前期仔鱼的主要消化酶活性显著低于正常投喂仔鱼,而后期仔鱼和稚鱼的消化酶活性则分别从饥饿 3 天和 4 天之后起,与正常投喂仔、稚鱼产生显著差异。这说明鲢鱼仔、稚鱼的消化酶活性对饥饿胁迫时间的反应在不同发育阶段是有差异的,其中以早期仔鱼最为敏感。早期仔鱼对饥饿胁迫的高敏感性在其它鱼类中也有报道。例如,黄尾鲷仔鱼在开口摄食期经过 2 天的饥饿后,其脂肪酶、淀粉酶、胰蛋白酶和碱性磷酸酶显著低于摄食仔鱼(Chen *et al.*, 2006)。由于初次摄食阶段仔鱼的消化器官刚开始发育,其消化功能尚不完善,即使遭受短期饥饿也会导致消化系统发育不良如消化腺上皮细胞的萎缩,从而影响其消化酶的正常发生过程。

另一方面,仔鱼在经历一段时期的饥饿再恢复摄食后,其消化酶活性具有一定的恢复能力。例如,牙鲆后期仔鱼在饥饿 2 天后,其消化酶活性迅速降低;而饥饿 4 天的仔鱼的消化酶活性在恢复摄食 2 天后就达到正常摄食仔鱼的水平,脂肪酶活性甚至超过了正常摄食仔鱼的水平(Bolasina *et al.*, 2006)。鲢鱼后期仔鱼在饥饿 3 天后,其胰蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶活性显著低于正常摄食仔鱼的水平。饥饿 4 天的后期仔鱼再恢复摄食 5 天后,其三种消化酶活性均达到正常摄食仔鱼的水平,饥饿 6 天的后期仔鱼三种消化酶活性虽然随恢复摄食时间的延长逐渐升高,但在恢复摄食 3 天后均未恢复至正常摄食仔鱼的水平。这说明饥饿仔鱼消化酶活性的恢复能力可能与饥饿时间或恢复摄食时间有关。即饥饿时间越长,仔鱼消化系统受到的损伤程度越高,消化酶活性恢复能力就越低,其恢复至正常水平所需要的时间就越长。稚鱼在饥饿 6 天后,其各种消化酶的活性才与摄食仔鱼之间才存

在显著差异, 并且在恢复摄食后 5 天后即可达到正常摄食稚鱼的水平。鳊鱼仔、稚鱼的消化酶活性在恢复摄食后的恢复能力随个体发育而增强, 这与仔、稚鱼的生长对饥饿的反应方式有差异, 显示了恢复摄食后其生长恢复过程滞后于消化酶活性。由于鳊鱼仔、稚鱼阶段的生长和消化酶活性变化均对饥饿反应敏感, 它们可以作为评价其遭受饥饿的程度和营养状况的指标。

参 考 文 献

- 田宏杰, 庄平, 高露姣, 2006. 生态因子对鱼类消化酶活力影响的研究进展. 海洋渔业, 28(2): 158—162
- 单秀娟, 窦硕增, 2008. 饥饿胁迫条件下黑鳊(*Miichthys miiuy*)仔鱼的生长与存活过程研究. 海洋与湖沼, 39(1): 14—23
- 单秀娟, 窦硕增, 2009. 鳊鱼(*Miichthys miiuy*)仔、稚鱼发育生长方式及其生态学意义. 海洋与湖沼, 40(6): 714—719
- 钱云霞, 陈慧群, 孙江飞, 2002. 饥饿对养殖鲈鱼血液生理生化指标的影响. 中国水产科学, 9(2): 133—137
- 殷名称, 1991. 鱼类早期生活史研究与其进展. 水产学报, 15(4): 348—358
- 殷名称, S M 哈维, J C A 凯克, 1993. 江鲈在卵和卵黄囊期仔鱼发育阶段生化成分的变化. 动物学报, 39(3): 272—279
- 高露姣, 陈立侨, 赵小勤等, 2004. 施氏鲟幼鱼的饥饿和补偿生长研究——对消化器官结构和酶活性的影响. 中国水产科学, 11(5): 413—419
- Battaglene S C, Talbot R B, 1992. Induced spawning and larval rearing of snapper, *Pagrus auratus* (Pisces: Sparidae), from Australian waters. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 26: 179—183
- Bisbal G, Bengtson D A, 1995. Descriptions of the starving condition in summer flounder, *Paralichthys dentatus*, early life-history stages. Fishery Bulletin, 93: 217—230
- Bolasina S, Pérez A, Yamashita Y, 2006. Digestive enzymes activity during ontogenetic development and effect of starvation in Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture, 252: 503—515
- Chatain B, Dewavrin G, 1989. The effects of abnormalities in the development of the swim bladder on the mortality of *Dicentrarchus labrax* during weaning. Aquaculture, 78: 55—61
- Chatain B, Ounais-Guschemann N, 1990. Improved rate of initial swim bladder inflation in intensively reared *Sparus auratus*. Aquaculture, 84: 345—353
- Chen B N, Qin J G, Kumar M S *et al*, 2006. Ontogenetic development of digestive enzymes in yellowtail kingfish *Seriola lalandi* larvae. Aquaculture, 260: 264—271
- Dou S, Masuda R, Tanaka M *et al*, 2002. Feeding resumption, morphological changes and mortality during starvation in Japanese flounder larvae. Journal of Fish Biology, 60: 1363—1380
- Dou S, Masuda R, Tanaka M *et al*, 2005. Effects of temperature and delayed initial feeding on the survival and growth of Japanese flounder larvae. Journal of Fish Biology, 66: 362—377
- Ehrlich K F, Blaxter J H S, Pemberton R, 1976. Morphological and histological changes during growth and starvation of herring and plaice larvae. Marine Biology, 35: 105—110
- Gisbert E, Doroshov S I, 2003. Histology of the developing digestive system and the effect of food deprivation in larval green sturgeon (*Acipenser medirostris*). Aquatic Living Resources, 16: 77—89
- Gisbert E, Patrick W, 1997. Larvae behavior and effect of the time of initial feeding on growth and survival of Siberian sturgeon larvae under small hatchery production. Aquaculture, 156: 63—76
- Gwak W S, Seikai T, Tanaka M, 1999. Evaluation of starvation status of laboratory-reared Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* larvae and juveniles based on morphological and histological characteristics. Fisheries Science, 65: 339—346
- Kurokawa T, Suzuki T, 1996. Formation of the diffuse pancreas and development of digestive enzyme synthesis larvae of the Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture, 141: 267—276
- Leggett W C, Deblois E, 1994. Recruitment in marine fishes: Is it regulated by starvation and predation in the egg and larval stages? Netherlands Journal of Sea Research, 32: 119—134
- McGurk M D, 1984. Effects of delayed feeding and temperature on the age of irreversible starvation and on the rates of growth and mortality of Pacific herring larvae. Marine Biology, 84: 13—26
- Pascual C, Sánchez A, Zenteno E *et al*, 2006. Biochemical, physiological, and immunological changes during starvation in juveniles of *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture, 251: 416—429
- Peña R A, Dumas S, 2005. Effect of delayed first feeding on development and feeding ability of *Paralabrax maculatofasciatus* larvae. Journal of Fish Biology, 67: 640—651
- Ribeiro L, Zambonino-Infante J L, Cahu C L *et al*, 1999. Development of digestive enzymes in larvae of *Solea senegalensis*, Kaup 1858. Aquaculture, 179: 465—473
- Richard P, Bergeron J P, Boulhic M *et al*, 1991. Effects of starvation on RNA, DNA and protein content of laboratory-reared larvae and juvenile of *Solea solea*. Marine Ecology Progress Series, 72: 69—77
- Shan X J, Huang W, Cao L *et al*, 2009a. Ontogenetic development of digestive enzymes and effect of starvation in miiuy croaker *Miichthys miiuy* larvae. Fish Physiology and Biochemistry, 35: 385—398
- Shan X J, Cao L, Huang W *et al*, 2009b. Feeding, morphological changes and allometric growth during starvation in miiuy croaker larvae. Environmental Biology of Fishes, 86: 121—130

- Shan X J, Xiao Z Z, Huang W *et al*, 2008. Effects of photoperiod on growth, mortality and digestive enzymes in miiuy croaker larvae and juveniles. *Aquaculture*, 281: 70—76
- Tandler A, Harel M, Koven W M, 1996. Broodstock and larvae nutrition in gilthead sea bream *Sparus aurata* new findings on its mode of involvement in improving growth, survival and swim bladder inflation. *Nutrition Reviews*, 66(8): 571
- Theilacker G H, 1986. Starvation-induced mortality of young sea-caught jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, determined with histological and morphological methods. *Fishery Bulletin*, 84: 1—17
- Theilacker G H, Porter S M, 1995. Condition of larval walleye pollock *Theragra chalcogramma*, in the Western Gulf of Alaska, assessed with histological and shrinkage indices. *Fishery Bulletin*, 93: 333—344
- Yú fera M, Darias M J, 2007. The onset of exogenous feeding in marine fish larvae. *Aquaculture*, 268: 57—63
- Yú fera M, Pascual E, Polo A *et al*, 1993. Effect of starvation on the feeding ability of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) larvae at first feeding. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 169: 259—272
- Zambonino-Infante J L, Cahu C L, 1994. Development and response to a diet change of some digestive enzymes in seabass *Dicentrarchus labrax* larvae. *Fish Physiology and Biochemistry*, 12: 399—408
- Zambonino-Infante J L, Cahu C L, 2001. Ontogeny of the gastrointestinal tract of marine fish larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology C*, 130: 477—487

EFFECTS OF SHORT-TERM FOOD DEPRIVATION ON THE GROWTH AND ACTIVITIES OF DIGESTIVE ENZYMES OF MIIUY CROAKER *MIICHTHYS MIIUY* LARVAE AND JUVENILES

SHAN Xiu-Juan^{1,2}, DOU Shuo-Zeng¹

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao, 266071)

Abstract This study investigated the effects of short-term food deprivation on the growth, survival and activities of digestive enzymes (amylase, lipase and trypsin) of miiuy croaker (*Miichthys miiuy*) at different developmental stages [1—7 days post hatching (dph) pre-larvae, 26—35dph post-larvae, and 42—53dph juveniles]. The results showed that the growth and activities of the digestive enzymes of the pre-larvae significantly decreased after food deprivation for 2 days, compared with 3 days in the post-larvae and 6 days in the juveniles. These observations suggest that the activities of the digestive enzymes of miiuy croaker at early developmental stages were subject to short-term starvation. However, their ability to withstand starvation may improve as they grow. After resuming feeding for 5 days, the activities of the digestive enzymes of the post-larvae that had starved for 4 days recovered to the levels of the well-fed fish. However, the digestive enzymatic activities of the post-larvae that had starved for 6 days did not recover to the levels of the well-fed fish even after feeding was resumed. In contrast, the activities of the digestive enzymes of the juveniles starved for 6 d reached the levels of the well-fed fish within 5 days after resuming feeding. These findings suggest that the activities of the digestive enzymes of the post-larvae may take more time to recover from food deprivation when starvation was prolonged. Moreover, the activities of digestive enzymes of the starved juveniles could recover more easily than those of the post-larvae after feeding was resumed. However, the growth of both the post-larvae and juveniles could not be recovered from the 4—6 days starvation even after feeding was resumed, suggesting a time lag between growth recovery and the recovery of the digestive enzymes. These findings indicated that the growth and digestive enzymes activities of the miiuy croaker larvae and juveniles were sensitive to short term food deprivation and thus can be used as useful bioindicators for assessing the starvation and nutritional status of this fish during early life stages.

Key words *Miichthys miiuy* larvae and juveniles, Growth and survival, Digestive enzymatic activity, Tolerance to starvation, Feeding resumption