

周期性停食对鳊鱼(*Miichthys miui*)幼鱼摄食、生长和消化酶活力的影响*

罗海忠¹ 施兆鸿² 柳敏海¹ 陈波¹ 于宏³ 傅荣兵¹

(1. 浙江省舟山市水产研究所 舟山 316000; 2. 中国水产科学研究院东海水产研究所 上海 200090;
3. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

提要 在水温(22±2) 条件下, 采用周期性停食胁迫方法研究 鱼幼鱼摄食、生长和消化酶的变化情况。结果表明, 饥饿组与对照组的特殊生长率差异性显著($P<0.05$); 不同停食时间胁迫下, 试验组的摄食率和特殊生长率与对照组差异极显著($P<0.01$), 停食 3 天 鱼幼鱼的食物转化率比对照组高, 表明 鱼幼鱼具有部分补偿能力; 消化酶在不同的组织中变化情况各不相同, 饥饿开始后各器官中的蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶均下降。随饥饿时间延长, 蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶出现上升现象, 但上升程度各不相同。恢复投喂后各组织中的蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶均上升; 随恢复投喂时间延长, 各试验组中 鱼幼鱼各器官组织中的消化酶变化情况也各不相同。

关键词 鱼, 周期性停食, 摄食, 生长, 消化酶活力

中图分类号 S965

食物资源短缺是自然生境中鱼类经常面临的一种生态胁迫因子, 研究受饥饿或营养不足条件下鱼类摄食与生长、身体组成与机体代谢特征的变化, 进而探讨其相应的生理生态反应机制和对策, 无疑对于促进鱼类的科学养殖具有一定的现实意义。

鱼(*Miichthys miui* Basilewsky)隶属于硬骨鱼纲、鲈形目、石首鱼科、 鱼属, 系我国沿海广布种, 其数量分布以东海、黄海为最多(朱元鼎等, 1963), 具有生长快、病害少、抗逆性强、肉鲜味美、营养丰富等优点, 深受国内外消费者的喜爱, 市场消费前景十分广阔, 近年来其人工繁殖与养殖已在我国南方沿海获得蓬勃发展。

饥饿对鱼类生理生态的影响研究现已日渐受到国内外学者的高度关注和重视, 目前已报道的养殖鱼类就达 17 个科 39 种之多(邵青等, 2004; 王志铮等, 2006), 研究内容主要涉及对鱼类代谢、行为、形态和组织结构、存活、繁殖、机体

成分、酶活力和恢复生长等的影响(谢小军等, 1998; 倪寿文等, 1993; 叶继丹等, 2003; Zamal *et al.*, 1995)。而目前有关 鱼的研究报道主要集中于生物学特性、人工育苗、养殖技术和代谢生理等方面(罗海忠等, 2006; 李星云等, 2005; 孙庆海等, 2003; 柳敏海等, 2007), 有关饥饿或营养不足对 鱼生理生态学方面的研究迄今尚未见报道。为此, 作者于 2005 年 10—12 月间在浙江华兴海水苗种有限公司内, 以 鱼幼鱼为实验动物, 开展周期性停食对其摄食、生长和内脏消化酶活力的影响实验, 以期对 鱼饥饿生理生态学研究积累基础资料, 为 鱼养殖中饲料的科学投喂提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验鱼来源与驯化

实验用 鱼取自浙江华兴海水苗种有限公司。实验前, 将幼鱼置于室内水泥池(500cm × 600cm × 150cm)内规格为 80cm × 60cm × 60cm 的

* 浙江省科技重点攻关项目, 2004C12028 号。罗海忠, 高级工程师, E-mail: haizhongluo@163.com

收稿日期: 2006-01-28, 收修改稿日期: 2006-04-27

小网箱(网目 80)中, 进行为期 15 天的适应性驯养, 期间每日换水 1 次(换水量为 60%), 饱食投喂 3 次(8: 00、12: 00、16: 00)。驯养结束后, 挑选体色正常、无伤病的健壮个体作为实验对象, 实验鱼规格为: 全长(9.50 ± 0.31)cm、体重(6.56 ± 1.71)g。

1.2 实验用饲料

本实验中所用饲料为由冰鲜梅童鱼(*Collenchthys niveatus*)和天邦饲料公司生产的成鳗配合饲料混合, 并经绞肉机绞制而成的软颗粒饲料。

1.3 实验条件和方法

各项实验均在自然光照、水温为(22 ± 2)、盐度为 27 ± 2 、pH 为 7.9 ± 0.2 的条件下进行。经停食预试验观察发现, 鱼幼鱼连续停食处理 13 天后, 其活动开始出现反应迟钝、聚群消失等异常现象, 据此确定连续停食处理 13 天为其周期性停食时间设置极限, 并按等比间距法设置停食 0 天(S_0)、停食 3 天(S_3)、停食 6 天(S_6)、停食 12 天(S_{12})4 个水平梯度(其中 S_0 组为对照组), 各梯度按“停食 + 饱食投喂”循环(停食时间 = 饱食投喂时间)模式开展周期性停食对 鱼幼鱼摄食、生长和消化酶活力的影响实验, 每一梯度各重复 6 组, 每组各放实验对象 50 尾, 其中 3 个组用于消化酶取样分析, 另外 3 个组用于生长与摄食分析, 总实验时间设定为 72 天。

在各梯度组实验开始和结束时刻, 均随机抽取 10 尾实验对象用量鱼板和 BS223S 型电子天平(精度 0.001g)测定全长 L/cm 、鲜重 W/g , 并据此计算周期性饥饿对 鱼幼鱼全长、体重的影响及特殊生长率(SGR)、摄食率(FR)和食物转化率(FE)。

每个“停食 + 饱食投喂”循环周期消化酶取样时间为饥饿结束当日和投喂结束当日, S_0 组与其他各组同时取样, 且其取样时刻均规定为中午 12: 00。具体为: 各梯度组每次随机取样 2 尾, 将样品鱼置于冰盘、脊髓处死、解剖取出肝、胃和肠, 并剔除内容物及肠系膜后, 用去离子水冲净, 放入冰箱(-20)储存备用; 从冰箱中取出待测样品, 于 4 解冻, 用剪刀剪成小块, 加入 10 倍体积预冷去离子水, 在高速组织匀浆机中冰浴匀浆, 匀浆液经 10000r/min 的速率离心 30min 后取上清液, 并置于 4 冰箱中保存, 进行酶活力检测, 其中蛋白酶测定采用福林-酚试剂法、脂肪酶测定采用聚乙烯橄榄油乳化液水解法(中山

大学生物系, 1979), 淀粉酶测定采用淀粉-碘显色法(上海医学化验所, 1979), 每一样品重复测定 3 次, 各项酶活力测定均在 12h 内分析完毕。

1.4 数据处理

各实验数据均用平均值 \pm 标准差($\bar{X} \pm S.D$)表示, 不同试验组数据间的采用单因素方差分析, 对检测达到显著的平均值用 Duncan 检验, 方差分析和多重比较用 SPSS11.5 进行。其中特殊生长率(SGR)、摄食率(FR)和食物转化率(FE)计算公式(李程琼等, 2005)如下:

$$SGR(\%) = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t;$$

$$FR(\%) = 100 \times C / [t \times (W_t + W_0) n / 2];$$

$$FE(\%) = 100 \times (W_t - W_0) n / C.$$

式中, n 为实验鱼数, W_0 为实验开始时刻实验鱼的平均鲜重, W_t 为结束时刻实验鱼的平均鲜重, C 为实验期间总摄入饲料量, SGR 为特殊生长率, FR 为摄食率, FE 为食物转化率, t 为实验投喂时间。

2 结果

2.1 周期性停食对 鱼幼鱼全长、体重及特殊生长率(SGR)、摄食率(FR)和食物转化率(FE)的影响

由表 1 可知, 随着停食处理时间的延长, 全长、体重均呈减少的趋势, 各梯度组尾鲜重日净增值间均存在显著性差异($P < 0.05$), S_0 组在食物转化率仅与 S_3 组存在显著差异($P < 0.05$), S_0 组与各梯度组在摄食率上具显著差异($P < 0.05$), 而实验组间却差异不显著($P > 0.05$), S_0 组特殊生长率明显低于其他梯度组($P < 0.01$), 特殊生长率以 S_3 组为最高, 较 S_0 组高 0.951%。

2.2 周期性停食对 鱼幼鱼消化酶活力的影响

2.2.1 蛋白酶的变化 由表 2 可见, 各梯度组胃和肝脏中的蛋白酶活力显著高于肠($P < 0.05$)。停食处理期间, 肠蛋白酶活力随停食时间的延长持续下降, 与对照组存在差异显著($P < 0.05$); 胃和肝脏蛋白酶活力随停食时间的延长呈先降后升趋势, 至停食 12 天时, 肝脏和胃中蛋白酶活力值均高于对照组($P < 0.05$)。恢复投喂后, 肝脏和胃中蛋白酶活力均于对照组相当, 活力值以 S_3 组肝和胃上升幅度为最大, 至恢复投喂后 12 天时, 胃和肠蛋白酶活力明显高于对照组($P < 0.05$)。

2.2.2 脂肪酶的变化 由表 3 可见, 停食处理

表1 周期性停食中鲢鱼全长、体重的变化和特殊生长率(SGR)、摄食率(FR)和食物转化率(FE)
Tab.1 Changes in total length, body weight, specific growth rate (SGR), feed rate (FR) and feed efficiency (FE) in *M. miiuy* juvenile during experiment

组别	S ₀	S ₃	S ₆	S ₁₂
开始全长(cm)	9.79 ± 0.05	9.81 ± 0.02	9.82 ± 0.02	9.78 ± 0.04
结束全长(cm)	13.63 ± 0.25	11.83 ± 0.15	11.27 ± 0.25	10.13 ± 0.21
开始鲜重(g)	6.34 ± 0.11	6.34 ± 0.08	6.36 ± 0.15	6.34 ± 0.95
结束鲜重(g)	21.03 ± 0.90	16.28 ± 0.12	15.58 ± 0.21	13.61 ± 0.36
鲜重净增(g)	14.69 ± 0.85 ^a	9.94 ± 0.19 ^b	9.22 ± 0.06 ^c	7.27 ± 0.26 ^d
尾鲜重日净增(g)	0.204 ± 0.013 ^a	0.138 ± 0.003 ^b	0.128 ± 0.005 ^b	0.101 ± 0.005 ^c
特殊生长率(SGR, %)	1.676 ± 0.064 ^a	2.627 ± 0.060 ^d	2.483 ± 0.029 ^c	2.118 ± 0.076 ^b
摄食率(FR, %)	3.265 ± 0.074 ^a	4.840 ± 0.650 ^b	5.045 ± 0.033 ^b	4.577 ± 0.075 ^b
食物转化率(FE, %)	45.790 ± 1.751 ^a	50.670 ± 1.301 ^b	46.25 ± 1.076 ^a	44.16 ± 0.541 ^a

注: 同一行数据上标字母相同表示差异不显著($P>0.05$), 字母不同表示差异显著($P<0.05$)

表2 周期性停食对鲢鱼幼鱼不同器官组织中蛋白酶的影响
Tab.2 Effect of periodic starvation on protease activity in different digestion organs of the *M. miiuy* juvenile

组别	停食后蛋白酶含量(U/g)			恢复投喂后蛋白酶含量(U/g)			
	S ₃	S ₆	S ₁₂	S ₃	S ₆	S ₁₂	
肝	实验组	237.67 ± 31.25 ^{aA}	382.81 ± 35.08 ^{aA}	734.16 ± 47.53 ^{bA}	491.05 ± 3.25 ^{cA}	507.54 ± 8.51 ^{dA}	481.26 ± 23.04 ^{cA}
	对照组	480.12 ± 5.72 ^{aB}	476.25 ± 3.56 ^{aB}	477.35 ± 6.35 ^{aB}	476.58 ± 8.00 ^{aA}	480.10 ± 3.25 ^{aA}	470.57 ± 4.56 ^{aA}
胃	实验组	275.17 ± 43.12 ^{aA}	463.25 ± 10.58 ^{bA}	687.22 ± 41.01 ^{cA}	583.57 ± 34.15 ^{dA}	594.54 ± 21.00 ^{dA}	591.36 ± 12.09 ^{dA}
	对照组	571.25 ± 6.19 ^{aB}	577.26 ± 10.23 ^{aB}	580.25 ± 7.24 ^{aB}	576.25 ± 10.11 ^{aA}	571.12 ± 17.00 ^{aB}	573.25 ± 9.23 ^{aB}
肠	实验组	83.55 ± 10.21 ^{aA}	94.25 ± 1.54 ^{aA}	57.07 ± 4.58 ^{bA}	204.54 ± 18.73 ^{cA}	188.54 ± 5.04 ^{dA}	204.25 ± 3.66 ^{cA}
	对照组	186.25 ± 9.06 ^{aB}	180.26 ± 13.88 ^{aB}	187.86 ± 1.60 ^{aB}	184.25 ± 8.14 ^{aB}	186.86 ± 8.50 ^{aA}	184.93 ± 9.24 ^{aB}

注: 同一行、列数据上标字母相同表示差异不显著($P>0.05$), 字母不同表示差异显著($P<0.05$)

表3 周期性停食对鲢鱼幼鱼不同器官组织中脂肪酶的影响
Tab.3 Effects of periodic starvation on lipase activity in different digestion organs of the *M. miiuy* juvenile

组别	饥饿后脂肪酶含量(U/g)			投喂后脂肪酶含量(U/g)			
	S ₃	S ₆	S ₁₂	S ₃	S ₆	S ₁₂	
肝	实验组	100.21 ± 13.22 ^{aA}	135.25 ± 9.54 ^{bA}	196.74 ± 8.24 ^{cA}	183.54 ± 4.57 ^{cA}	185.54 ± 5.51 ^{cA}	182.05 ± 3.00 ^{cA}
	对照组	176.35 ± 3.59 ^{aB}	182.05 ± 7.55 ^{aB}	170.25 ± 7.93 ^{aB}	173.25 ± 7.71 ^{aA}	173.00 ± 6.88 ^{aA}	180.25 ± 8.36 ^{aA}
胃	实验组	43.25 ± 7.25 ^{aA}	34.25 ± 1.27 ^{bA}	91.73 ± 4.25 ^{cA}	89.52 ± 2.45 ^{cA}	95.19 ± 4.08 ^{cA}	86.30 ± 2.05 ^{cA}
	对照组	79.25 ± 9.53 ^{aB}	85.26 ± 9.12 ^{aB}	81.36 ± 3.50 ^{aB}	83.28 ± 4.55 ^{aA}	80.25 ± 3.63 ^{aB}	86.34 ± 3.52 ^{aA}
肠	实验组	20.58 ± 4.11 ^{aA}	10.26 ± 0.07 ^{bA}	8.06 ± 0.51 ^{bA}	52.46 ± 3.44 ^{cA}	56.24 ± 3.01 ^{cA}	57.09 ± 1.09 ^{cA}
	对照组	50.56 ± 3.09 ^{aB}	46.35 ± 2.36 ^{aB}	43.25 ± 4.20 ^{aB}	49.25 ± 2.00 ^{aA}	43.26 ± 3.34 ^{aB}	46.32 ± 4.07 ^{aB}

注: 同一行、列数据上标字母相同表示差异不显著($P>0.05$), 字母不同表示差异显著($P<0.05$)

表4 周期性停食对鲢鱼幼鱼不同器官组织中淀粉酶的影响
Tab.4 Effects of periodic starvation on amylase activity in different digestion organs of the *M. miiuy* juvenile

组别	饥饿后淀粉酶含量(U/g)			投喂后淀粉酶含量(U/g)			
	S ₃	S ₆	S ₁₂	S ₃	S ₆	S ₁₂	
肝	实验组	1515.87 ± 79.24 ^{aA}	1987.36 ± 90.25 ^{bA}	2074.86 ± 71.05 ^{bA}	2748.18 ± 48.72 ^{cA}	2715.86 ± 49.81 ^{cA}	2631.54 ± 49.50 ^{dA}
	对照组	2631.26 ± 56.23 ^{aB}	2598.36 ± 79.35 ^{aB}	2645.25 ± 54.13 ^{aB}	2623.25 ± 83.21 ^{aA}	2597.25 ± 57.36 ^{aB}	2649.35 ± 56.74 ^{aA}
胃	实验组	756.11 ± 17.28 ^{aA}	891.58 ± 31.76 ^{bA}	1471.57 ± 59.72 ^{cA}	1572.15 ± 8.44 ^{dA}	1582.83 ± 15.57 ^{dA}	1630.25 ± 17.54 ^{eA}
	对照组	1461.25 ± 32.55 ^{aB}	1486.36 ± 37.28 ^{aB}	1490.25 ± 73.81 ^{aA}	1463.25 ± 73.25 ^{aB}	1460.23 ± 43.21 ^{aB}	1479.21 ± 34.24 ^{aB}
肠	实验组	879.27 ± 54.25 ^{aA}	1054.15 ± 24.10 ^{bA}	607.48 ± 6.07 ^{cA}	1857.57 ± 45.05 ^{dA}	1876.15 ± 20.54 ^{dA}	1833.25 ± 60.81 ^{dA}
	对照组	1803.25 ± 73.25 ^{aB}	1859.35 ± 49.35 ^{aB}	1876.24 ± 56.21 ^{aB}	1820.23 ± 81.25 ^{aA}	1803.75 ± 51.24 ^{aA}	1847.10 ± 18.24 ^{aA}

注: 同一行、列数据上标字母相同表示差异不显著($P>0.05$), 字母不同表示差异显著($P<0.05$)

期间,各梯度组中肠脂肪酶与对照组相比较,一直处于较低水平且无多大的变化,而肝脏和胃部中的脂肪酶随停食时间延长而提高,至停食 12 天时其脂肪酶均高于对照组($P<0.05$)。恢复投喂后,各梯度组脂肪酶均维持在一定水平,肠脂肪酶上升明显,显著高于停食处理阶段。

2.2.3 淀粉酶的变化 由表 4 可见,停食开始后,各梯度组淀粉酶与对照组比较均有所下降。随停食时间的延长,肠淀粉酶下降速度最快,与对照组差异显著($P<0.05$),胃淀粉酶呈先降后升趋势,最后与对照组相近($P>0.05$),而肝淀粉酶则呈现出波浪起伏状变化。恢复投喂后,各梯度组淀粉酶与饥饿后相比均呈上升趋势,尤以是肠、胃中淀粉酶活力恢复等更为显著($P<0.05$),且大于或接近对照组,肝淀粉酶恢复投喂后则均高于或接近对照组。

3 讨论

3.1 关于周期性停食对鱼类补偿生长特征评价及持续利用的可靠性

目前国内外有关继饥饿后恢复生长的实验设计主要有:(1)对饥饿处理组进行“饥饿—喂食—再饥饿—再喂食—……”的重复处理,各处理组的“饥饿+喂食”总持续时间相等,对照组持续喂食(Kim *et al*, 1995);(2)各组饥饿处理相同时间,恢复喂食不同时间,对照组持续喂食;(3)各组饥饿处理不同时间后恢复喂食,“恢复喂食时间+饥饿处理时间”为一定值,对照组持续喂食。其中第 1 种实验设计可实现考察重复性的饥饿处理对实验对象恢复生长的影响,第 2 种可用于探究实验对象恢复生长中生长率改变的时间历程,第 3 种可实现饥饿处理不同时间对实验对象恢复生长的影响。

从比较而言,第一种模式比较适合本实验的设计目的,它既可探究实验对象的是否具有补偿生长特征,也可用于验证该补偿生长特征的持续利用情形。

3.2 周期性停食状态下 鱼幼鱼的补偿特征与机制分析

谢小军等(1998)从量的角度将补偿生长分为超补偿生长、完全补偿生长、部分补偿生长和不能补偿生长等 4 类,本实验各梯度组在结束时刻的鱼体质量虽均低于对照组,但其摄食率和特殊生长率却均较对照组高($P<0.01$),表明 鱼幼鱼具部分

补偿生长特征,这与对饥饿处理 4 周和 6 周的黄鳍鲷、限食 6 周和 9 周的斑点叉尾、饥饿 2 周和 4 周的杂交罗非鱼的报道以及李程琼等对奥尼罗非鱼多重周期饥饿研究结果相一致(李程琼等, 2005; Paul *et al*, 1995; Wang *et al*, 2000)。

关于补偿生长机制的争议,体现为以下 3 种说法:(1)仅通过提高食物的转化率来实现;(2)仅通过增强食欲,提高摄食水平来实现;(3)通过摄食率、食物的转化率的共同提高来实现(张波等, 2000)。本研究中,各梯度组的特殊增长率(*SGR*)、摄食率(*FR*)均高于对照组($P<0.05$),而食物转化率除 S_3 组较高外($P<0.05$),其他梯度组间无显著差异,表明短期停食处理的 鱼的补偿生长主要是由于摄食率和食物转化率提高引起的,随着停食时间的延长 鱼的补偿生长主要是由于摄食率提高引起的。

3.3 周期性停食处理下 鱼幼鱼消化酶活力的变化特征

影响酶液分泌的因素很多,如温度、盐度、食物等,其中最大的因素是食物。研究表明,酶活力的变化能够反应鱼类饲料供应和营养水平的变化(Machado *et al*, 1988; 高露姣等, 2004)。从本实验来看,周期性停食对 鱼幼鱼消化酶活力的变化十分显著,表现为饥饿初期各消化酶的普遍下降,这可能是由于停食导致参与摄食的各个感觉器官及整个消化系统缺乏必要的食物刺激所致。饥饿 12 天后, 鱼幼鱼肝和胃蛋白酶、脂肪酶活力大幅上升,而肠中蛋白酶、脂肪酶活力达到最低,各器官淀粉酶活力均降低,说明 鱼幼鱼在停食状态下会发生代谢适应性的变化,以达到积极利用体内的储存物质以维持生命的目的,这一情形与鲤鱼极为相似(郑曙明等, 2003)。同时随着停食时间的延长,淀粉酶脂肪酶和蛋白酶活力均呈先降后升趋势,至饥饿第 12 天时淀粉酶和脂肪酶活力与对照组较接近,而蛋白酶活力则明显高于对照组,表明蛋白质是后期最终利用能源。恢复投喂后, S_3 组、 S_6 组蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活力均明显回升,并显著高于对照组, S_{12} 组蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活力也与对照组较接近,表明 鱼幼鱼在恢复投喂后获得补偿生长,此时其消化能力和能量转化效率得到补偿性提高,这与周期性停食处理后 鱼幼鱼摄食率和特殊生长显著高于对照组相吻合。这一现象与

饥饿后投喂鲤鱼和虎鲨的淀粉酶总体呈上升趋势结果相似(郑曙明等, 2003; 王燕妮等, 2001)。

致谢 本研究得到了中国水产科学研究院黄海水产研究所雷霖霖院士的指导和帮助, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 上海医学化验所, 1979. 临床生化检验(上册). 上海: 上海科学技术出版社, 336—368
- 王志铮, 施建军, 吕敢堂等, 2006. 受短期饥饿胁迫下麦瑞加拉鲮鱼(*Cirrhina mrigola*)幼鱼的生长、肌体组成及其内脏消化酶活力的变化特征. 海洋与湖沼, 37(3): 218—224
- 王燕妮, 张志蓉, 郑曙明, 2001. 鲤鱼补偿生长及饥饿对淀粉酶的影响. 水利渔业, 21(5): 6—7
- 中山大学生物系, 1979. 生化技术导论. 北京: 科学出版社, 53—60
- 叶继丹, 卢彤岩, 田 雷, 2003. 不同 pH 和温度条件下杂交鲟胃中消化酶活力的变化. 中国水产科学, 10(1): 79—81
- 朱元鼎, 张春霖, 成庆泰等, 1963. 东海鱼类志. 北京: 科学出版社, 308
- 孙庆海, 陈诗凯, 2003. 鱼规模化繁育技术研究. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 22(3): 273—276
- 李明月, 郑忠明, 竺俊全等, 2005. 鱼亲鱼培育及其人工繁殖的研究. 水产科学, 24(1): 32—34
- 李程琼, 冯 健, 刘永坚等, 2005. 奥尼罗非鱼多重周期饥饿后的补偿生长. 中山大学学报(自然科学版), 44(4): 99—102
- 张 波, 孙 耀, 唐启升, 2000. 饥饿对真鲷生长及生化组成的影响. 水产学报, 24(3): 206—210
- 邵 青, 杨 阳, 王志铮等, 2004. 水产养殖动物补偿生长的研究进展. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 23(4): 334—342
- 罗海忠, 傅荣兵, 陈 波等, 2006. 舟山近海 鱼胚胎和早期仔鱼的发生及与盐度的关系. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 25(1): 15—22
- 郑曙明, 王燕妮, 聂迎霞等, 2003. 虎鲨饥饿后的补偿生长及淀粉酶活力研究. 华中农业大学学报, 22(10): 483—487
- 柳敏海, 罗海忠, 陈 波等, 2007. 鱼鳃丝 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 性质的初步研究. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 26(1): 12—16
- 倪寿文, 桂远明, 刘焕亮, 1993. 草鱼、鲤、鲢、鳙和尼罗罗非鱼肝胰脏和肠道蛋白酶活力的初步探讨. 动物学报, 39(2): 160—168
- 高露姣, 陈立侨, 赵晓勤等, 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力的影响. 中国水产科学, 11(5): 413—418
- 谢小军, 邓 利, 张 波, 1998. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展. 水生生物学报, 22(2): 181—187
- Kim M K, Lovell R T, 1995. Effect of restricted feeding regiments on compensatory weight gain and body tiddue changes in channel, catfish *Ictalurus punctatus* in ponds. Aquaculture, 135: 285—293
- Machado C R, Garofalo M A R, Migliorini R H, 1988. Effects of starvation, re-feeding and insulin on energy-linked metabolic process in catfish (*Rhamdio hiliarii*) adapted to acarbohydrate-rich diet. Gen Comp Endocrinol, 71: 429—437
- Paul A J, Paul J M, Smith R L, 1995. Compensatory growth in Alaska yellow fin sole, *Pleurinectes asper*, following food deprivation. J Fish Biol, 46: 442—448
- Wang Y, Cui Y B, Yang Y X, 2000. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus* reared in seawater. Aquaculture, 189: 101—108
- Zamal H, Ollevier F, 1995. Effect of feeding and lack of food on the growth, gross biochemical and fatty acid composition of juvenile catfish. J Fish Biol, 46: 404—414

THE EFFECT OF PERIODIC STARVATION ON FEEDING, GROWTH AND DIGESTIVE ENZYME ACTIVITY OF *MIICHTHYS MIIUY* JUVENILE

LUO Hai-Zhong¹, SHI Zhao-Hong², LIU Min-Hai¹, CHEN Bo¹,
YU Hong³, FU Rong-Bing¹

(1. Fisheries Institute of Zhoushan of Zhejiang Province, Zhoushan, 316000; 2. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai, 200090; 3. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Qingdao, 266071)

Abstract Food shortage is often a stress in natural environment to many fish species, causing growth retardation or even death. However, response to the stress differs in species. After the food become available again, they would re-gain growth, which is called compensatory growth. In this study, juvenile of *Miichthys miiuy* was tested for the effect of periodic starvation on feeding, growth, and digestive enzyme activity. At 22 ± 2 , the juveniles were divided into four groups (S_0 , S_3 , S_6 , and S_{12}), which were starved for 0, 3, 6, 12 days and then fed for 0, 3, 6, 12 days respectively. All individuals were tested in starvation-feeding in 72 days. The results showed that the daily performance of weight growth is significantly different among groups in feed efficiency, feed rate, and specific growth rate. The juvenile *M. miiuy* is able to develop in partially compensatory manner. Moreover, changes in three digestive enzymes are different too. In early starvation, protease, lipase, and amylase decreased in stomach, intestine, and liver. As the starvation continues, all three enzymes increased at different rates. After re-feed the fish, contents of lipase and amylase rebounded. As the feeding time passed, changes in the content of digestive enzyme in digestive organs were different among five groups.

Key words *Miichthys miiuy*, Periodic starvation, Feeding, Growth, Digestive enzyme activity