

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2011.01269

饥饿与再投喂及投喂频率对条石鲷幼鱼生长和消化酶活力的影响

宋国^{1,2}, 彭士明¹, 孙鹏¹, 王建钢¹, 尹飞¹, 施兆鸿^{1,2}

1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业资源与生态重点实验室, 上海 200090;

2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306

摘要: 研究了饥饿与再投喂及不同投喂频率对条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)幼鱼生长和消化酶活力的影响。饥饿与再投喂的实验结果表明: 条石鲷幼鱼体质量、蛋白酶(胃蛋白酶、胰蛋白酶)与脂肪酶活力随着饥饿时间的延长均呈现明显的下降趋势, 体质量与蛋白酶活力在饥饿 6 d 后与对照组表现出显著性差异($P<0.05$), 脂肪酶活力在饥饿 9 d 后才与对照组表现出显著性差异($P<0.05$), 而淀粉酶活力在饥饿过程中呈波动性变化; 恢复投喂后, 除饥饿 3 d 的幼鱼体质量、特定生长率与对照组无明显差异外, 其他各处理组均明显低于对照组; 蛋白酶与脂肪酶活力在恢复投喂后均有明显回升, 且蛋白酶活力与对照组相比已无显著性差异, 但较长时间的饥饿处理(9~12 d)并未使脂肪酶活力恢复至对照组水平。投喂频率实验的研究结果表明: 随着投喂频率的增加, 条石鲷幼鱼的特定生长率呈上升趋势, 在投喂频率达到投喂 2 次/d 后, 条石鲷幼鱼的特定生长率、消化酶活力及肝体指数差异均不显著。结论认为, 在本实验条件下, 饥饿 3 d 后再经投喂, 条石鲷幼鱼具有完全补偿生长效应, 但随着饥饿时间的延长补偿生长的效应逐渐降低。对条石鲷幼鱼而言, 选择日投喂两次最合适。

关键词: 条石鲷; 饥饿; 再投喂; 投喂频率; 生长; 消化酶

中图分类号: S965.3; S917.4

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2011)06-1269-09

由于自然界中季节变更导致食物分布的不均匀, 或养殖过程中饵料投喂量不足等原因, 鱼类会经常面临食物的缺乏而遭受饥饿胁迫。不同摄食类型及不同生活阶段的鱼类对饥饿的适应方式及耐受能力各不相同, 对食物的消化速率也不尽相同。深入研究鱼类饥饿和再投喂过程中的生理生态特性和生理机制, 以及研究投喂频率对鱼类消化吸收过程和饲料利用率的影响, 有助于建立合理的养殖投喂模式、取得良好的经济效益, 同时对渔业资源管理以及养殖水环境的保护具有重要意义。近年来, 有关饥饿胁迫的研究越来越受到国内外学者的关注, 包括从形态学^[1-3]、生化组成^[4-6]、能量代谢^[7]、组织学^[8]、分子生物学^[9]、

补偿生长^[10-11]等方面对鱼类饥饿胁迫下的各种变化进行研究, 从生长^[12]、饲料利用率^[13]、摄食节律^[14]方面对投喂频率进行研究, 以此来考察鱼类对饥饿胁迫的适应机制, 从而建立适宜的饲养模式。

条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)属鲈形目、石鲷科、石鲷属, 属暖水性礁栖鱼类^[15]。其生长快, 适应性强, 具较高的经济价值, 是中国沿海主要的养殖和放流种类。国内外学者对条石鲷形态特征^[16-21]、生理生态^[22-23]、人工育苗和生产管理^[24]、繁殖生物学^[25]方面作了大量的研究。但饥饿胁迫和投喂频率对消化酶的影响未见报道。本课题研究了饥饿胁迫和不同投喂频率条件下条石鲷幼鱼

收稿日期: 2011-05-09; 修订日期: 2011-07-03.

基金项目: 浙江省公益技术研究农业项目(2010C32089); 浙江省海洋与渔业种子种苗项目(201013425); 浙江省重大科技专项重点项目(2006C12005-2).

作者简介: 宋国, 男, 硕士研究生, 从事海水鱼类养殖生物学研究. E-mail: zhnesg861231@126.com

通信作者: 施兆鸿, 研究员. E-mail: shizhh@hitmail.com

生长和消化酶活力的变化,旨在为开展条石鲷大规模养殖生产和建立合理的投喂策略提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼的来源及规格

条石鲷为舟山市水产研究所自行繁育的幼鱼,选取体质健壮且规格相近的个体,体质量(10 ± 1.0) g。实验开始前,于 28 m^3 的水泥池驯养 1 周。

1.2 实验条件

实验用水为经 48 h 暗沉淀再沙滤后的海水,水温 $27 \sim 30^\circ\text{C}$,盐度 $26 \sim 28$,驯养适应和实验期间 24 h 不间断充气增氧,确保溶氧高于 6 mg/L 。驯养适应和再投喂阶段,每天 8:00 和 15:00 各投喂日本林兼株式会社生产的鱼宝牌 6 号商业饲料 1 次,达到饱食状态。每天换水 2 次,日换水量超过 100%。

1.3 饥饿与再投喂的实验设计与指标分析

随机将鱼分入 15 个 $80 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$ 水族箱中,水位 80 cm,适应 1 周,每箱 30 尾。实验共分 5 组,分别为 S0(每天投喂)、S3(饥饿 3 d,恢复投喂 27 d)、S6(饥饿 6 d,恢复投喂 24 d)、S9(饥饿 9 d,恢复投喂 21 d)和 S12(饥饿 12 d,恢复投喂 18 d)。每组设 3 个平行,实验条件与驯养期间相同。每天投喂颗粒饲料 2 次。达饱食状态后 20 min 在每个水族箱中搜集残饵烘干,摄食量根据投饵量减去残饵量计算得出。分别在实验前、饥饿处理后和整个实验结束后分别取样,对照组同步取样。每次取样从水族箱随机取鱼 3 尾麻醉,称体质量,取肝脏称量,取消化道保存于 -20°C 冰箱中,用于测定消化酶。消化酶活力的测定均采用南京建成生物工程研究试剂盒,具体方法参照说明书。

胃蛋白酶单位定义为,每毫克组织蛋白 37°C 每分钟分解蛋白生成 $1 \mu\text{g}$ 氨基酸相当于 1 个酶活力单位, $1\text{U} = 1 \mu\text{g}$ 酪氨酸/($\text{min} \cdot \text{mg}$ 组织蛋白)。

胰蛋白酶单位定义为,在 $\text{pH } 8.0$, 37°C 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 1 个酶活力单位。

脂肪酶单位定义为,在 37°C 条件下,每克组织蛋白在本反应体系中与底物反应 1 分钟,每消

耗 $1 \mu\text{mol}$ 底物为 1 个酶活力单位。

淀粉酶单位定义为,组织中每毫克蛋白在 37°C 与底物作用 30 min,水解 10 mg 淀粉定义为 1 个淀粉酶活力单位。

1.4 投喂频率的实验设计与指标分析

实验设 2 d 投喂 1 次(A 组)、1 d 投喂 1 次(B 组)、1 d 投喂 2 次(C 组)、1 d 投喂 3 次(D 组)和 1 d 投喂 4 次(E 组)。每组设 3 平行,实验条件同上,每次投喂达饱食状态。实验进行 30 d 后在各箱中随机取鱼 3 尾麻醉,称量测定和测试方法同上。

1.5 参数计算公式和数据的统计分析

饥饿条件下的损失率(%) $K_1 = (W_0 - W_1)/W_0$,

再投喂后增重率(%) $K_2 = (W_2 - W_0)/W_0$,

肝体指数 $\text{HIS}(\%) = W_s / W_0$ (或 W_1 、 W_2)

特定生长率 $\text{SGR}(\%) = (\ln W_2 - \ln W_1)/t$,

饲料转化率 $\text{FCE}(\%) = (W_2 - W_1)/C$,

日摄食量 $D(\text{mg}) = C/t$,

式中, W_0 为饥饿处理开始时鱼体质量(g); W_1 指恢复生长或实验初始的体质量(g); W_2 指恢复生长或实验结束时的体质量(g); W_s 指测量时肝质量; t 指恢复生长或实验时间; C 指投饵量。

数据用平均值 \pm 标准误($\bar{x} \pm \text{SE}$)表示,不同处理组数据间的差异采用单因素方差分析。对检测达到显著($P < 0.05$)的平均值用 Duncan 检验。方差分析和多重比较用 SPSS 13.1 软件处理。

2 结果与分析

2.1 饥饿与再投喂对幼鱼生长指标的影响

条石鲷幼鱼的体质量随饥饿时间延长下降明显(表 1),饥饿 6 d 后与实验开始前相比差异显著($P < 0.05$),而饥饿 3 d 与饥饿前相比则差异不显著($P > 0.05$)。饥饿造成的损失率随饥饿时间的延长而增加与体质量的减小成反比,当饥饿达到 12 d 时损失率为 $(28.32 \pm 3.8)\%$,显著高于饥饿 6 d 时的损失率($P < 0.05$)。幼鱼的肝体指数在遭受饥饿后也下降十分明显($P < 0.05$),饥饿 3 d 的幼鱼肝体指数与实验开始前相比减重 50% 以上,差异十分显著($P < 0.05$),但随饥饿时间的延长肝体指数虽持续减少,但减幅变小,饥饿 6 d 与饥饿 12 d 的肝体指

表 1 饥饿与再投喂对条石鲷幼鱼生长的影响
Tab. 1 Effects of starvation and refeeding on growth of *Oplegnathus fasciatus*

<i>n</i> = 9 ; $\bar{x} \pm SE$									
实验组 trial	实验初 体质量/g initial body weight	饥饿后 体质量/g body weight after starvation	再投喂后 体质量/g body weight after refeed	实验初肝体 指数/% initial liver weight	饥饿后 肝体指数/% liver weight after starvation	再投喂后 肝体指数/% liver weight after refeed	饥饿 损失率/% lost of body weight after the starvation	再投喂 增重率/% growth rate after the refeeding	特定生长率 /% SGR
S0	10.72±0.63 ^A	/	32.47±1.41 ^{dB}	1.84±0.13 ^A	/	2.79±0.17 ^{hB}	/	204.33±31.22 ^d	3.70±0.33 ^d
S3	10.33±0.28 ^A	9.14±0.55 ^{cA}	30.51±2.05 ^{dB}	1.89±0.09 ^B	0.97±0.09 ^{cA}	2.47±0.25 ^{abC}	11.42±5.56 ^a	195.40±15.89 ^d	3.61±0.18 ^d
S6	10.65±0.30 ^B	9.00±0.56 ^{cbA}	26.41±1.22 ^{cC}	1.79±0.05 ^B	0.77±0.08 ^{aA}	2.58±0.14 ^{abC}	15.37±7.32 ^{ab}	148.34±18.26 ^c	3.03±0.25 ^c
S9	10.62±0.51 ^B	8.29±0.28 ^{abA}	21.62±2.27 ^{bcC}	1.81±0.15 ^B	0.56±0.02 ^{bdA}	2.33±0.21 ^{aC}	21.91±3.52 ^{bc}	103.51±17.83 ^b	2.36±0.29 ^b
S12	10.54±0.45 ^B	7.55±0.30 ^{aA}	17.01±1.65 ^{aC}	1.92±0.11 ^B	0.66±0.09 ^{abA}	2.48±0.15 ^{abC}	28.32±3.89 ^c	61.97±22.10 ^a	1.59±0.44 ^a

注: 数据后小写字母相同表示同列数据差异不显著($P>0.05$), 大写字母相同表示不同实验阶段同一指标之间的数据差异不显著($P>0.05$).
Note: The same lowercase letter within the same column or row means insignificant difference ($P>0.05$), the same uppercase letter means insignificant difference in difference experimental stage during the same index ($P>0.05$).

数差异不再显著($P>0.05$)。

经饥饿后再投喂体质量均有增加, 实验结束时, 饥饿 3 d 再投喂 27 d (S3 组)与连续投喂 30 d(S0 组)没有差异($P>0.05$), 而其他各组与 S0 组之间均存在显著差异($P<0.05$)。肝体指数随幼鱼恢复摄食而增重不显著($P>0.05$), 与饥饿前相比增加 2~4.5 倍, 。再投喂后的增重率和实验期间的特定生长率变化趋势相同, S3 与 S0 之间无差异($P>0.05$), 其他各组显著低于 S0 组($P<0.05$)。

2.2 饥饿与再投喂对幼鱼消化酶的影响

2.2.1 饥饿与再投喂对幼鱼胃蛋白酶活力的影响

胃蛋白酶活力在饥饿状态下随饥饿时间的延长而下降(图 1), 与同期对照组相比饥饿 6 d 至 12 d 的实验组胃蛋白酶活力显著降低($P<0.05$)。投喂后的各实验组胃蛋白酶活力都有恢复, 与同期对照组之间均无显著差异($P>0.05$)。

2.2.2 饥饿与再投喂对幼鱼胰蛋白酶活力的影响

饥饿 6 d 后消化道中的胰蛋白酶活力显著下降($P<0.05$)(图 2), 且与同期对照组之间也差异显著($P<0.05$)。再投喂后各实验组之间胰蛋白酶活力无差异($P>0.05$), 并且与同期对照组之间差异均不显著($P>0.05$), 表明胰蛋白酶在投喂后已经恢复到正常水平。

2.2.3 饥饿与再投喂对幼鱼脂肪酶活力的影响 脂肪酶活力在饥饿过程中持续下降(图 3), 各实验组

脂肪酶活力均低于同期对照组, 且饥饿 9 d 和 12 d 实验组与持续投喂组之间差异显著($P<0.05$), 但饥饿 6 d 前测得的酶活力与连续投喂组之间无显著性差异($P>0.05$)。各实验组的脂肪酶活力在饥饿结束恢复投喂后与饥饿结束时相比均有不同程度的上升, 饥饿 3 d 和 6 d 的实验组与同期对照组之间无显著性差异($P>0.05$), 饥饿 9 d 和 12 d 的实验组与同期对照组之间则差异显著($P<0.05$), 说明饥饿 9 d 或 12 d 后再投喂 21 d 和 18 d, 酶活力仍未恢复到对照组水平。

2.2.4 饥饿与再投喂对幼鱼淀粉酶活力的影响

淀粉酶活力在饥饿过程中先降后升(图 4), 但组间差异均不显著($P>0.05$), 饥饿 3 d 和 6 d 的实验组与同期对照组差异显著($P<0.05$), 说明淀粉酶活力下降明显, 但饥饿至 9 d 及以后淀粉酶活力又有所恢复, 此时活力与同期对照组之间的差异也不再显著($P>0.05$)。再投喂的各实验组与连续投喂组之间存在差异($P<0.05$), 饥饿后再投喂的各实验组与同期对照组之间均无显著性差异($P>0.05$)。

2.3 不同投喂频率对幼鱼生长指标的影响

投喂频率对条石鲷生长指数的影响(表 2), 幼鱼在各种投喂频率条件下饲养 30 d 后均获得增长, 1 次/2 d 和 1 次/d 的实验组与 2 次/d 之间的体质量差异显著($P<0.05$), 而 3 次/d 和 4 次/d 的实验组与

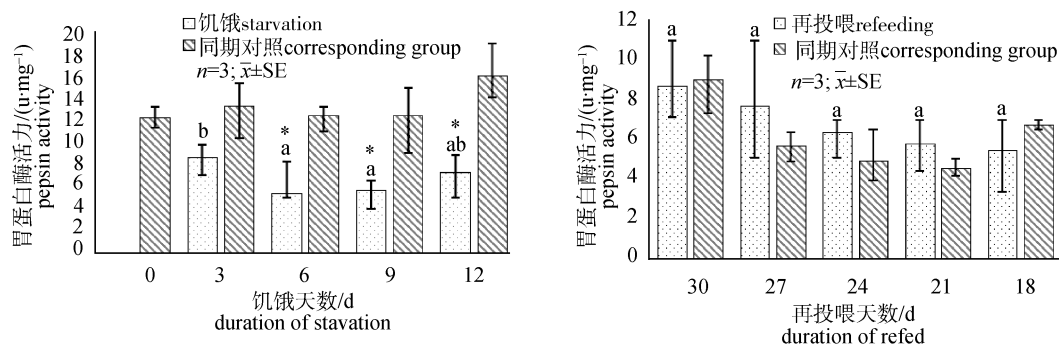


图 1 饥饿与再投喂对胃蛋白酶活力的影响

图柱上方不同小写字母表示处理组间有显著性差异 ($P < 0.05$), “*”表示与同期对照组有显著差异 ($P < 0.05$).

Fig. 1 Effect of starvation and refeeding on pepsin activity

Means with different lowercase are significantly different ($P < 0.05$), and asterisk means significantly lower than corresponding group.

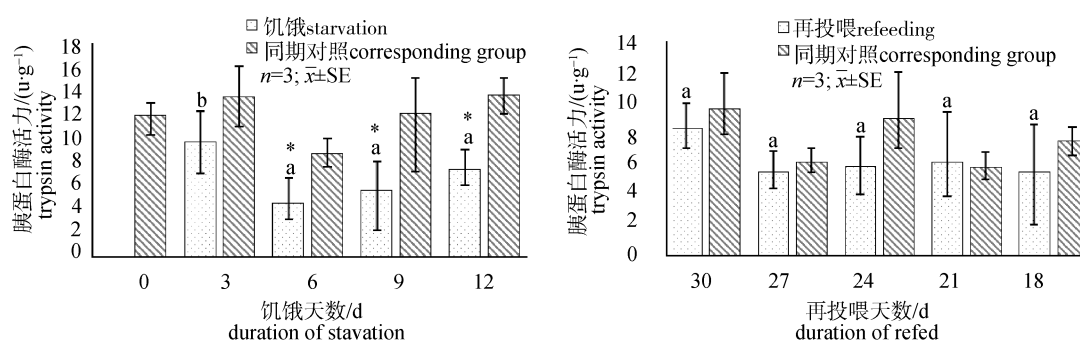


图 2 饥饿与再投喂对胰蛋白酶活力的影响

图柱上方不同小写字母表示处理组间有显著性差异 ($P < 0.05$), “*”表示与同期对照组有显著差异 ($P < 0.05$).

Fig. 2 Effect of starvation and refeeding on trypsin activity

Means with different lowercase are significantly different ($P < 0.05$), and asterisk means significantly lower than corresponding group.

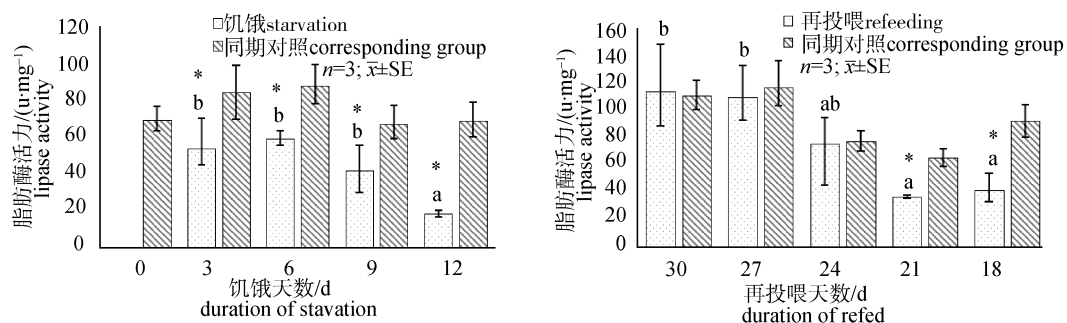


图 3 饥饿与再投喂对脂肪酶活力的影响

图柱上方不同小写字母表示处理组间有显著性差异 ($P < 0.05$), “*”表示与同期对照组有显著差异 ($P < 0.05$).

Fig. 3 Effect of starvation and refeeding on lipase activity

Means with different lowercase are significantly different ($P < 0.05$), and asterisk means significantly lower than corresponding group.

2 次/d 组差异不显著 ($P > 0.05$)。肝体指数 1 次/d 与 1 ~ 4 次/d 的实验组均有差异 ($P < 0.05$), 而 1 ~ 4 次/d 的实验组之间无差异 ($P > 0.05$)。体质量与特定生长率随投喂频率的增加而递增, 2 d 投喂 1 次最低, 2 d 投喂 1 次和 1 d 投喂 1 次均与 1 d 投喂 2

次差异显著 ($P < 0.05$), 而 1 d 投喂 2 ~ 4 次实验组之间差异不显著 ($P > 0.05$)。投喂频率对条石鲷幼鱼的饲料转化率 (FCE) 差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.4 不同投喂频率对幼鱼消化酶的影响

不同投喂频率对消化酶活性均不同 (图 5~8)。

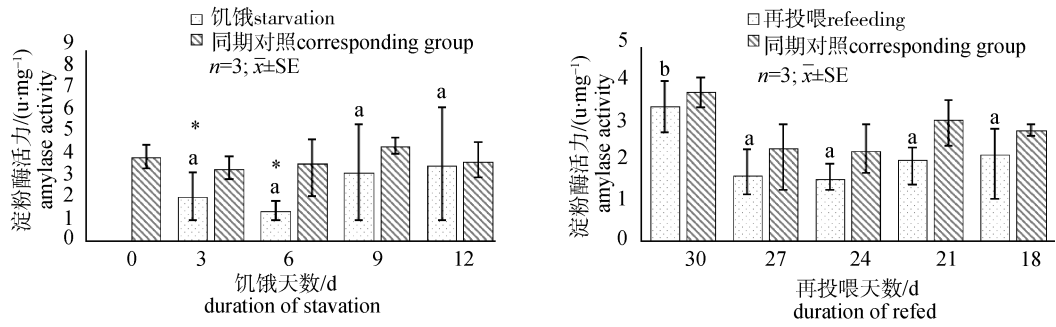


图 4 饥饿与再投喂对淀粉酶活力的影响

图柱上方不同小写字母表示处理组间有显著性差异($P<0.05$), *表示与同期对照组有显著差异($P<0.05$).

Fig. 4 Effect of starvation and refeeding on amylase activity

Means with different lowercase are significantly different ($P<0.05$), an asterisk means significantly lower than corresponding group.

表 2 投喂频率对条石鲷幼鱼生长的影响

Tab. 2 Effect of feeding frequency on growth of *Oplegnathus fasciatus*

<i>n</i> =9; $\bar{x}\pm\text{SE}$							
实验组 group	实验初体质量/g initial body weight	实验后体质量/g final body weight	实验初肝体指数/% initial liver weight	实验后肝体指数/% final liver weight	特定生长率/% SGR	日摄食量/g daily food consumption	饲料转化率/% FCE
A(1 次/2d)	10.35±0.22	15.56±0.37 ^a	1.90±0.11	1.52±0.13 ^a	1.36±0.12 ^a	4.21±0.32 ^a	4.15±0.62
B(1 次/d)	10.63±0.31	25.75±0.97 ^b	1.83±0.05	2.82±0.81 ^b	2.95±0.19 ^b	9.06±0.26 ^b	5.56±0.37
C(2 次/d)	10.78±0.68	34.85±3.10 ^c	1.87±0.08	2.63±0.16 ^b	3.91±0.49 ^c	16.52±0.29 ^c	4.85±0.71
D(3 次/d)	10.58±0.50	34.59±6.95 ^c	1.81±0.10	2.62±0.33 ^b	3.91±0.59 ^c	18.67±0.55 ^d	4.27±1.11
E(4 次/d)	10.41±0.51	35.65±4.71 ^c	1.84±0.04	2.59±0.28 ^b	4.09±0.59 ^c	15.92±0.66 ^c	5.31±1.28

注: 数据后小写字母相同表示同列数据差异不显著($P>0.05$).

Note: Same lowercase letter within the same row means insignificant difference ($P>0.05$).

总体变化趋势是 2 d 投喂 1 次的消化酶活性均高于其他投喂频率的各实验组。脂肪酶 2 d 投喂 1 次和 1 d 投喂 1 次之间差异不显著($P>0.05$)而与其他各组的活性差异显著($P<0.05$)。胃蛋白酶和淀粉酶 2d 投喂 1 次的活性都高于其他各组($P<0.05$), 而 1 d 投喂 1~4 次之间没有显著差异($P>0.05$)。胰蛋白酶与脂肪酶相似, 同样 2 d 投喂 1 次和 1d 投喂 1 次之间不显著($P>0.05$), 与其他各组差异显著($P<0.05$), 1 d 投喂 2~4 次之间差异也不显著($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 饥饿与再投喂对条石鲷幼鱼生长的影响

鱼类补偿生长可大体分为 3 类, 即部分补偿生长、完全补偿生长、超补偿生长。补偿生长的有无及补偿生长的程度要由相同时间内持续饱食

投喂的对照组与恢复生长期间内的特定生长率和体质量相比较而判定^[2,26]。在饥饿后恢复生长过程中, 一般情况下特定生长率先上升一段时间再恢复到与对照组相同状态, 生长的补偿效应只产生于一定的时段。楼宝等对鲈的研究表明, 饥饿处理时间的不同, 再恢复生长的补偿生长程度不同^[27]。为了解不同饥饿处理时间对条石鲷幼鱼恢复生长的影响, 本研究采用“恢复喂食时间+饥饿处理时间为一定值, 对照组持续投喂”的实验方法对条石鲷幼鱼的补偿生长进行了研究分析。研究结果显示, 在饥饿胁迫下, 条石鲷幼鱼体质量随饥饿时间延长而逐渐下降, 损失率逐渐升高; 再恢复投喂后, 各饥饿组幼鱼体质量均低于对照组, 但其中 S3 组体质量与对照组差异不显著, 肝体指数有差异, 说明该组在饥饿后生长加快; 其余各组在恢复投喂后和对照组之间仍差异显著, 并且再恢复投喂后鱼体特定生长率变化趋势与

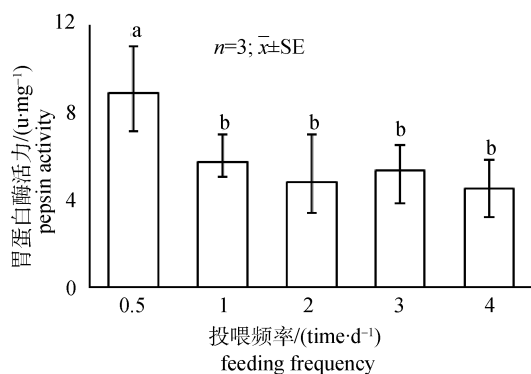


图 5 投喂频率对幼鱼胃蛋白酶活力的影响

图柱上方不同小写字母表示处理组间有显著性差异($P < 0.05$).

Fig. 5 Effect of feeding frequency on pepsin activity
Means with different lowercase are significantly different ($P < 0.05$).

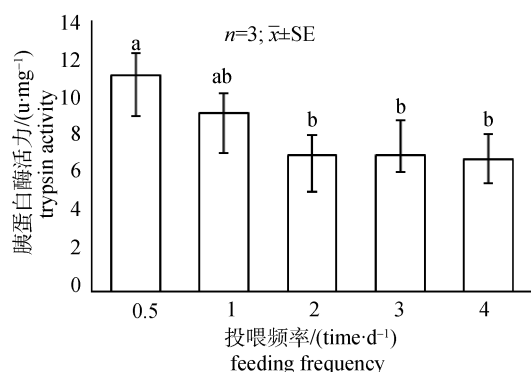


图 6 投喂频率对幼鱼胰蛋白酶活力的影响

图柱上方不同小写字母表示处理组间有显著性差异($P < 0.05$).

Fig. 6 Effect of feeding frequency on trypsin activity
Means with different lowercase are significantly different ($P < 0.05$).

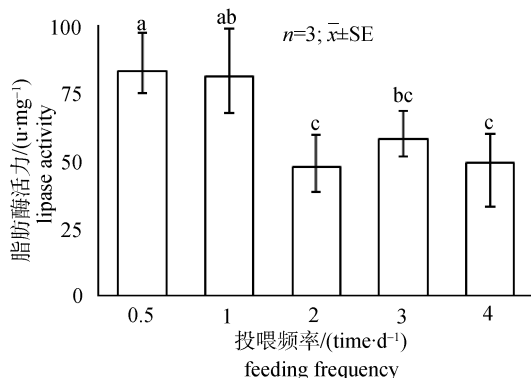


图 7 投喂频率对幼鱼脂肪酶活力的影响

图柱上方不同小写字母表示处理组间有显著性差异($P < 0.05$).

Fig. 7 Effect of feeding frequency on lipase activity
Means with different lowercase are significantly different ($P < 0.05$).

体质量相同。由此说明, 在本实验条件下, 饥饿 3 d 后再投喂, 条石鲷幼鱼有完全补偿生长的效应; 但随着饥饿时间的延长补偿生长的效应逐渐

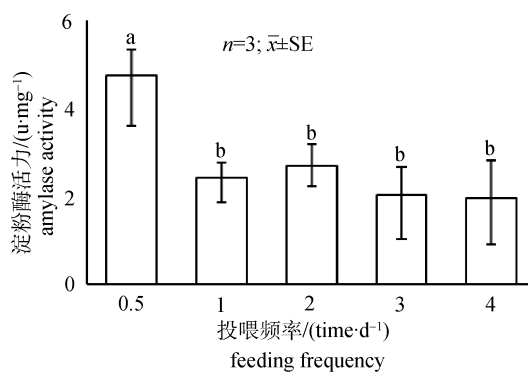


图 8 投喂频率对幼鱼淀粉酶活力的影响

图柱上方不同小写字母表示处理组间有显著性差异($P < 0.05$).

Fig. 8 Effect of feeding frequency on amylase activity
Means with different lowercase are significantly different ($P < 0.05$).

降低。通过对已有研究分析得出, 饥饿时间的长短是影响鱼类补偿生长能力的重要因素之一, 例如, 区又君和刘泽伟在对千年笛鲷的研究中发现, 饥饿 4 d 幼鱼具有完全补偿生长能力, 饥饿 6 d 组幼鱼仅有部分补偿生长能力, 而饥饿 9 d 组幼鱼不具有补偿生长能力^[29]。高露姣等在对史氏鲷幼鱼的研究同样发现, 补偿生长随饥饿时间的不同而有所差异^[30]。

3.2 饥饿与再投喂对条石鲷幼鱼消化酶活性的影响

鱼类在饥饿环境中, 只能动用本身能源物质才能维持生命, 此时, 鱼体为适应饥饿状态, 需通过调整自身各种酶的活性, 以达到合理利用体内的贮存物质以维持生命的目的。钱云霞对饥饿期间养殖鲈蛋白酶活力的变化进行了研究, 发现饥饿使鱼体各部分蛋白酶活力均下降^[30]。王燕妮等研究饥饿后鲤的淀粉酶活力变化, 发现饥饿后鲤的酶活性会大幅上升, 而恢复进食后则有所下降, 总体呈上升趋势, 分析原因可能是鲤饥饿后为了更好地吸收残留食物而导致淀粉酶活力上升^[31]。高露姣等在研究饥饿对施氏鲷幼鱼的消化酶活性时发现, 饥饿 7 d 时, 蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶的活性均有较大幅度的下降^[32]。在本实验过程中, 饥饿使条石鲷幼鱼消化酶活性与同期对照组相比均有下降趋势。胃蛋白酶和胰蛋白酶在饥饿 6 d 前下降幅度较大, 饥饿 6 d 后变化幅度较小; 淀粉酶活性呈波动变化趋势; 脂肪酶活性呈持续下降趋势。再恢

复投喂后, 各种酶活性均有所回升。本研究石鲷消化酶活性在饥饿过程中明显降低, 此可能是其一种自我保护机制, 在无外源食物来源的情况下, 机体只能通过降低自身代谢能耗来维持其生命活动, 较高的酶活性反而增加其自身的能量消耗。而在恢复投喂后, 机体则通过提高自身消化酶活性以达到最大程度的消化吸收外源营养的目的。

3.3 投喂频率对条石鲷幼鱼生长和消化酶的影响

投喂频率对条石鲷幼鱼特定生长率有显著影响。鱼类的最佳投喂频率因种类不同而存在差异。杜海明等认为鳅(*Elopichthys bambusa*)幼鱼的最适投喂频率为 3 次/d^[33]; Biswas 等对印度野鲮(*Cirrhinus mirgala*)和南亚野鲮(*Labeo rohita*)的研究发现, 1 次/d 即可满足其生长需求^[34]; 而巨石斑鱼(*Epinephelus drummondhayi*)的研究结果表明最佳投喂频率为 0.5 次/d^[35]。在本实验过程中, 随着投喂频率的增加, 1 次/2d、1 次/d 和 2 次/d 特定生长率呈逐渐上升趋势($P < 0.05$), 而 2~4 次/d 之间没有显著差异($P > 0.05$)。由此说明, 过多的投喂频率并不能够显著提高条石鲷幼鱼的生长性能。因此, 从节约成本的角度考虑, 建议生产过程中条石鲷幼鱼养殖过程采用 2 次/d 的投喂频率最为适宜。何利君等在对南方鲇(*Silurus meridionalis*)的研究中同样发现, 其最适投喂频率亦为 2 次/d^[36]。

投喂频率对条石鲷幼鱼消化酶活力也有显著影响。在本实验过程中, 1 次/2d 和 1 次/d 中的主要消化酶活力显著高于其余各投喂频率组, 然而, 2~4 次/d 消化酶活性变化不明显。其原因可能在于, 在较低的投喂频率条件下, 条石鲷幼鱼的食物来源相对较少, 此时鱼体必须通过提高自身消化酶活力来充分吸收食物中的营养与能量, 才能保障鱼体的正常生长及代谢。而在较高的投喂频率条件下, 条石鲷幼鱼的食物来源充足, 此时中低水平的消化酶活力既能满足鱼体正常生长所需的营养与能量。同时, 从本实验结果中可以看出, 投喂频率超过 2 次/d 后, 条石鲷幼鱼消化酶活力并未随着投喂频率的增加而有显著性的变化, 表明 2 次/d 的投喂频率(饱食状态)已足够满足条石鲷幼鱼正常生长所需的日摄食量。由此, 研究结

果从消化酶活力的层面进一步印证了条石鲷幼鱼的最适投喂频率为 2 次/d。

参考文献:

- [1] Ehrlich K F, Blaxter J H S, Pemberton. Morphological and Histological Changes during the growth and starvation of herring and plaice larvae[J]. Mar Biol, 1976, 35: 105-118.
- [2] 谢小军, 邓利, 张波. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展[J]. 水产生物学报, 1998, 22(2): 181-188.
- [3] 鲍宝龙, 苏锦祥. 海洋饥饿仔鱼营养状况的研究[J]. 上海水产大学学报, 1998, 7(1): 51-58.
- [4] 吴立新, 蔡勋, 陈炜. 饥饿和再喂食对泥鳅生化组成的影响[J]. 生态学杂志, 2006, 25(1): 101-104.
- [5] 区又军, 刘泽伟. 饥饿和再投喂对千年笛鲷幼鱼消化酶活性的影响[J]. 海洋学报, 2007, 29(1): 86-90.
- [6] 张波, 孙耀, 唐启升. 饥饿对真鲷生长及生化组成的影响[J]. 水产学报, 2000, 24(3): 206-210.
- [7] 张波, 谢小军. 南方鲇的饥饿代谢研究. 海洋与湖沼[J]. 2000b, 31(5): 480-484.
- [8] Stusmann C A, Talashima F. PNR, histology and morphometry of starved pejerrey *Odontesthes bonariensis* larvae[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1989, 55: 237-246.
- [9] Buckley L J. Relationships between RNA-DNA Aratio, prandial density, and growth rate Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae[J]. Fish Res Bd Can, 1992, 36: 1497-1502.
- [10] 吴立新, 董双林. 水产动物继饥饿或营养不足后的补偿生长研究进展[J]. 应用生态学报, 2000, 11(6): 943-946.
- [11] 姜志强, 贾泽梅, 韩延波. 美国红鱼继饥饿后的补偿生长及其机制[J]. 水产学报, 2002, 26(1): 67-72.
- [12] 王华, 李勇, 陈康, 等. 水产养殖动物摄食节律与投喂模式的研究进展[J]. 饲料工业, 2008, 29(24): 17-21.
- [13] 蔡春芳, 陈立侨, 叶元土, 等. 增加投喂频率改善彭泽鲫对饲料糖的利用[J]. 华东师范大学: 自然科学版, 2009, (2): 88-96.
- [14] 杨瑞斌, 谢从新, 魏开建, 等. 不同投喂频率下黄颡鱼幼鱼的摄食节律研究[J]. 华中农业大学学报, 2006, 25(3): 274-276.
- [15] 朱元鼎, 张春霖, 成庆泰, 等. 东海鱼类志[M]. 北京: 科学出版社, 1963.
- [16] Kakizawa Y, Xamishikiro K, Shirato M, et al. the tooth development of the parrot perch, *Oplegnathus fasciatus* (family Oplegnathidae, Teleostei) [J]. J Nihon Univ School Dent, 1980, 22: 211-216.
- [17] Jae WK, Gun WB, Hea JB. Electron microscopic study on

- the integumentary epidermis of the paot fish, *Oplegnathus fasciatus*, Korean[J]. J Electr Microsc, 2004, 43: 131–137.
- [18] Koh JN, Kim YU. Embryonic development and morphology of larvae and juveniles of parrot fish *Oplegnathus fasciatus*(Temminck et Schlegel) [J]. Bull Nat Fish Univ of Pusan: Natural Sciences, 1992, 32: 29–45.
- [19] Yoshikoshi K, Innoe K. Viral nervous necrosis in hatchery-reared larvae and juveniles of Japanese parrotfish, *Oplegnathus fasciatus*(Temminck & Schlegel) [J]. J Fish Dis, 1990, 13: 69–77.
- [20] 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.
- [21] 肖志忠, 郑炯, 于道德, 等. 条石鲷早期发育的形态特征[J]. 海洋科学, 2008, 32(3): 25–31.
- [22] 王健鑫, 石戈, 李鹏, 等. 条石鲷消化道的形态学和组织学[J]. 水产学报, 2006, 30(5): 619–623.
- [23] 施兆鸿, 彭士明, 尹彦强, 等. 不同盐度下条石鲷胚胎及卵黄囊仔鱼的形态变化[J]. 生态学杂志, 2009, 28(3): 471–476.
- [24] 全汉锋, 肖治. 条石鲷人工繁育技术研究[J]. 台湾海峡, 2007, 26(2): 296–300.
- [25] 孙中之, 柳学周, 徐永江, 等. 饥饿对条石鲷仔稚鱼生长发育的影响[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(4): 8–13.
- [26] 楼宝, 史会来. 饥饿和再投喂对日本黄姑鱼代谢率和消化器官组织学的影响[J]. 海洋渔业, 2007, 29(2): 280–284.
- [27] 楼宝, 史会来. 饥饿和再投喂对鲈鱼生长和生化组成的影响[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(3): 173–177.
- [28] 区又军, 刘泽伟. 饥饿和再投喂对千年笛鲷幼鱼消酶活性的影响[J]. 海洋学报, 2007, 29(1): 86–90.
- [29] 高露姣, 陈立桥. 饥饿和补偿生长对史氏鲟幼鱼摄食、生长和体成分的影响[J]. 水产学报, 2004, 28(3): 280–284.
- [30] 钱云霞. 饥饿对养殖鲈蛋白酶活力的影响[J]. 水产科学, 2002, 21(3): 6–7.
- [31] 王燕妮, 张志蓉, 郑曙明. 鲤鱼的补偿性生长及饥饿对淀粉酶的影响[J]. 水利渔业, 2001, 21(5): 6–7.
- [32] 高露姣, 陈立桥, 赵晓勤, 等. 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[J]. 中国水产科学, 2004, 11(5): 413–419.
- [33] 杜海明, 刘文奎, 等. 投喂频率对鳃幼鱼摄食及生长的影响[J]. 淡水渔业, 2007, 37(6): 15–18.
- [34] Biswas G, Jena J K, Singh S K, et al. Effect of feeding frequency on growth survival and feed utilization in mrigal *Cirrhinus mrigala* and rohu *Labeo rohita*, during nursery rearing[J]. Aquaculture, 2006, 254: 211–218.
- [35] Chua T E, Teng S K. Effects of feeding frequency on the growth of young estuary grouper, *Epinephelus drummond-hayi*(Forsk), cultured in floating net-cages[J]. Aquaculture, 1978, 14: 31–47.
- [36] 何利君, 谢小军, 艾庆辉. 饲喂频率对南方鲷的摄食率、生长和饲料转化率的影响[J]. 水生生物学报, 2003, 27(4): 434–436.

Effects of starvation, refeeding, and feeding frequency on growth and digestive enzyme activity of *Oplegnathus fasciatus*

SONG Guo^{1,2}, PENG Shiming¹, SUN Peng¹, WANG Jiangang¹, YIN Fei¹, SHI Zhaohong^{1,2}

1. Key and Open Laboratory of Marine and Estuary Fisheries, East Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;

2. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 201306, China

Abstract: The aim of this study was to investigate the effects of starvation, refeeding, and feeding frequency on the growth and digestive enzyme activity of rock bream (*Oplegnathus fasciatus*). In the starvation and refeeding experiment, the body weight, proteinase (pepsin and trypsin), and lipase activities decreased with increasing starvation time. There were significant differences in body weight and pepsin activity between the control group and the group starved for 6 days. After 9 days of starvation, the lipase activity was significantly lower than that of the control group. The amylase activity fluctuated throughout the experimental period. After refeeding, the fish body weights and specific growth rates (SGRs) of all groups (except S3: starvation for 3 d and refeeding for 27d) were significantly lower than those of the control group. However, there were no significant differences in body weight and SGR between the S3 group and the control. The proteinase and lipase activities increased after recovery feeding. There was no significant difference in proteinase activity between the starved groups and the control. However, the lipase activity after a relatively long period of starvation (9–12 days) did not return to the level of the control group. In the feeding frequency experiment, five experimental groups were fed 0.5, 1, 2, 3 or 4 times per day in a 30-day trial. The results showed that SGR tended to increase with increased feeding frequency. However, there were no significant increases in SGR and digestive enzyme activity at higher feeding frequencies (more than twice per day). In conclusion, the results of this study indicate that juvenile *O. fasciatus* starved for 3 days had fully compensatory growth ability, and the optimum feeding frequency was twice per day for juveniles of this species.

Key words: *Oplegnathus fasciatus*; starvation; refeeding; feeding frequency; growth; digestive enzyme

Corresponding author: SHI Zhaohong. E-mail: shizhh@hitmail.com