

# 周期性饥饿再投喂对建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian) 生长、体组成、消化酶的影响\*

乔秋实<sup>1,2</sup> 蒋广震<sup>1</sup> 刘文斌<sup>1</sup> 夏薇<sup>1</sup> 刘兆普<sup>2</sup>

(1. 江苏省水产动物营养重点实验室 南京农业大学动物科技学院 南京 210095; 2. 江苏省海洋生物学重点实验室 南京农业大学资源与环境科学学院 南京 210095)

**提要** 采用周期性饥饿再投喂的方法, 研究周期性饥饿再投喂对建鲤(1.5 ± 0.2g)的生长、体组成、消化酶的影响。试验分为 10 个组, 共进行 60d。结果表明, 在相同的饥饿天数下, 延长再投喂天数可以使建鲤的增重率逐渐增加, 而且 S1F4、S2F8、S4F16 组的增重率与对照组无显著性差异( $P>0.05$ ), 9 个周期性饥饿再投喂组在摄食期间的摄食率和特定生长率均显著性高于对照组( $P<0.05$ ), 而且饵料系数均低于对照组, 说明本试验建鲤的补偿生长是通过提高摄食率和饵料利用率共同实现的; 周期性饥饿再投喂对全鱼水分、粗蛋白、粗灰分影响差异不显著( $P>0.05$ ), 但 9 个周期性饥饿再投喂组的全鱼粗脂肪含量均低于对照组, 而且在相同的饥饿天数下, 随着再投喂天数的延长而升高; 9 个周期性饥饿再投喂组的肠道消化酶(蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶)活力均高于对照组。

**关键词** 建鲤, 饥饿再投喂, 生长, 体组成, 消化酶活力

**中图分类号** S965

在自然界中, 由于食物分布在空间上的不均匀性、季节更替或环境剧变等原因, 生物经常因面临食物缺乏而受到饥饿胁迫。而处于食物缺乏或营养匮乏的生物个体或种群在食物供给恢复正常后, 会表现出一定程度的快速迸发式生长, 这种生长被称为补偿生长(compensatory growth)或获得性生长(catch-up growth)。通过饥饿实验可以了解鱼类耐饥饿胁迫能力, 对研究鱼类营养生理具有重要的理论意义(丁福红等, 2010)。国外对畜禽类和其它哺乳类的研究较早且较为广泛(Auckland *et al*, 1969), 并已对一些种类利用补偿生长改变喂食方式提高经济效益(Plavnik *et al*, 1991; Lee *et al*, 2001)。虽然目前在鱼类方面研究较为广泛(Alim *et al*, 2004; Andreas *et al*, 2006; Jyrki *et al*, 2004; Zhu *et al*, 2005; Cui *et al*, 2006), 但大都起步较晚。国内对草鱼(崔奕波等, 1993; 沈文英等, 1999)、南方鲇(邓利等, 1999)、真鲷(张波等, 2000)、罗非鱼

(王岩, 2001)等进行过研究。

建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian)是以特定的荷包红鲤和沅江鲤为亲本, 经 6 代定向自繁自育的良种, 具有生长速度快、适合多种养殖方式饲养、抗病力强、易起捕、含肉量多、肉质好等优点, 产量约占全国鲤鱼总产量的 50%, 是我国最主要的鲤鱼养殖品种之一。目前, 补偿生长试验大多仅就单个周期内的饥饿和复投喂进行研究(Jyrki *et al*, 2004; Zhu *et al*, 2005; Cui *et al*, 2006), 但实际上季节的变更会使水生生物处于周期性的饥饿中(Van Dijk *et al*, 2005), 目前虽偶有多周期补偿生长研究, 但也是集中于在固定饥饿和投喂天数比例的情况下, 扩大相应单周期的长度来研究其对鱼类生长和体组成的影响。因此, 本文在不同的饥饿天数下, 逐渐调整再投喂天数与饥饿天数的比例, 研究周期性饥饿再投喂对建鲤的生长、体组成以及消化酶活力的影响, 以期获得较好的饥饿

\* 现代农业产业技术体系建设专项——国家大宗淡水鱼类产业技术体系资金资助, nycytx-49-21 号。乔秋实, E-mail: qiaoshi@126.com

通讯作者: 刘文斌, 教授, 博士生导师, E-mail: wbliu@njau.edu.cn

收稿日期: 2010-10-18, 收修改稿日期: 2010-12-27

和再投喂天数的组合,揭示在周期性饥饿再投喂的模式下建鲤在生长和生理上的变化,为开发出适合建鲤的高效投喂模式提供一定的理论基础,并为鱼类补偿生长研究提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验在江苏省淡水水产研究所南京禄口试验基地室外水泥池(规格:2.5m×1.7m×0.5m)中进行。挑选外观正常、体质健壮、尾均体重为(1.5±0.2)g 的建鲤鱼苗 3000 尾为试验用鱼。

### 1.2 试验方法

试验分为 10 组,分别为:对照组、S1F2、S1F3、S1F4、S2F4、S2F6、S2F8、S4F8、S4F12、S4F16,见表 1。每组 3 个重复,每个重复水泥池中放建鲤 100 尾。试验饲料为宁波天邦公司的精养淡水鱼配合饲料,含粗蛋白 34%、粗脂肪 6%、灰分 10%。

表 1 投喂模式  
Tab.1 Feeding modes

投喂模式	投喂时间(60d)
对照组	每天投喂
S1F2	饥饿 1 天,投喂 2 天,饥饿 1 天,投喂 2 天,.....
S1F3	饥饿 1 天,投喂 3 天,饥饿 1 天,投喂 3 天,.....
S1F4	饥饿 1 天,投喂 4 天,饥饿 1 天,投喂 4 天,.....
S2F4	饥饿 2 天,投喂 4 天,饥饿 2 天,投喂 4 天,.....
S2F6	饥饿 2 天,投喂 6 天,饥饿 2 天,投喂 6 天,.....
S2F8	饥饿 2 天,投喂 8 天,饥饿 2 天,投喂 8 天,.....
S4F8	饥饿 4 天,投喂 8 天,饥饿 4 天,投喂 8 天,.....
S4F12	饥饿 4 天,投喂 12 天,饥饿 4 天,投喂 12 天,.....
S4F16	饥饿 4 天,投喂 16 天,饥饿 4 天,投喂 16 天,.....

### 1.3 饲养管理

试验鱼在大水泥池中暂养 7d 后,选择规格一致的 3000 尾鱼苗,随机分到 30 个水泥池中,每个水泥池 100 尾,并分别称量总重。试验开始时每天投喂三次(8:00、12:00、16:00),每次投喂以大部分鱼吃饱,不再徘徊水面抢食为结束点。试验期间水温保持在(29±3)、微流水(10L/min)不断补充新水,每个水泥池放两个气石充氧,使溶氧 > 5mg/L。

### 1.4 样品采集与处理

试验共进行 60d。试验结束停止投喂 24h 后,以每个水泥池为单位称鱼总重,并计录尾数,统计饵料用量。每个水泥池随机取 20 尾鱼称重、测体长,剖

取肝脏、胴体称重,并在冰盘上解剖,取肠道、肝脏,用 4℃ 预冷后的生理盐水冲洗,然后用滤纸吸干水分,-20℃ 冷冻保存,备用。另每个网箱再随机取 10 尾鱼用于全鱼体成分分析。

#### (1) 生长性能指标表示法

$$\text{增重率}(WGR, \%) = (W_t - W_0) \times 100 / W_0$$

$$\text{摄食期内的特定生长率}(SGR, \%/d) = (\ln W_t - \ln W_0) \times 100 / t$$

$$\text{饵料系数}(FCR) = C / (W_t - W_0)$$

$$\text{摄食率}(FR, \%/d) = 100 \times W_c / [t \times (W_t + W_0) / 2]$$

$$\text{肥满度}(CF, \%) = 100 \times W_f / L^3$$

$$\text{肝体比}(HSI, \%) = 100 \times W_g / W_t$$

$$\text{脏体比}(VSI, \%) = 100 \times W_v / W_t$$

式中,肥满度单位为(g/cm<sup>3</sup>),体长单位为(cm),肝脏质量和鱼体质量单位均为(g), $W_t$ 和 $W_0$ 分别为试验开始和结束时鱼的湿体质量(g), $C$ 为总摄食饵料量(g), $t$ 为摄食时间(d), $N_0$ 和 $N_t$ 分别为试验开始和结束时鱼的尾数, $L$ 为鱼体长(cm), $W_g$ 为肝脏质量(g), $W_v$ 为内脏质量(g)。

#### (2) 体成分指标测定

水分含量用 105℃ 常压干燥法,粗脂肪含量用索氏抽提法测定,粗蛋白的测定方法用凯氏定氮法,粗灰分含量的测定用 550℃ 高温炉灼烧法。

#### (3) 组织生化性能指标测定

测定肠道消化酶(蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶)和肝脏超氧化物歧化酶(SOD)的活力。肠道蛋白酶活力采用福林酚测定法,酶活力以每克组织蛋白在 28℃ 下每分钟分解酪蛋白生成 1μg 酪氨酸,相当于 1 个酶活力单位(U/μg);肠道脂肪酶活力单位定义为:在 28℃ 条件下,每 mg 组织蛋白在反应体系中与底物反应 1min,每消耗 1μmol 底物为 1 个酶活性单位(U/mg);肠道淀粉酶活力单位定义为组织中每 mg 蛋白在 28℃ 与底物作用 30min,水解 10mg 淀粉时定义为 1 个活力单位(U/mg)。肝脏 SOD 活力单位定义为每 mg 组织蛋白在 1ml 反应液中 SOD 抑制率达 50%时所对应的 SOD 量为一个 SOD 活力单位(U/mg),酶样组织蛋白含量测定采用考马斯亮兰法。本试验所用试剂盒购自南京建成生物研究所。

### 1.5 数据分析

试验数据用平均数±标准差(Mean±SD)表示。应用 SPSS 18.0 软件统计,进行单因子方差分析和 Duncan's 多重比较进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 周期性饥饿再投喂对建鲤生长性能的影响

试验结束后, 各组鱼成活率均为 100%。由表 2 可知, 对照组增重率最高, S1F4、S2F8、S4F16 三组增重率与对照组无显著性差异( $P>0.05$ ), 而且分别在饥饿 1、2、4 天的情况下, 增加相应的再投喂天数各组增重率逐渐升高, 即  $S1F2 < S1F3 < S1F4$ 、 $S2F4 < S2F6 < S2F8$ 、 $S4F8 < S4F12 < S4F16$ 。各试验组的特定生长率都显著性高于对照组( $P<0.05$ ), 并呈现出  $S1F2 > S1F3 > S1F4$ 、 $S2F4 > S2F6 > S2F8$ 、 $S4F8 > S4F12 > S4F16$  的趋势; 各试验组摄食期间的摄食率都显著性高于对照组( $P<0.05$ ), 而且分别在饥饿 1、2、4 天的情况下, 增加相应的再投喂天数各组的摄食率逐渐降低, 即  $S1F2 < S1F3 < S1F4$ 、 $S2F4 < S2F6 < S2F8$ 、 $S4F8 < S4F12 < S4F16$ 。9 个周期性饥饿再投喂组的饵料系数均低于对照组, 而且分别在饥饿 1、2、4 天的情况下, 增加相应的再投喂天数各组的饵料系数逐渐降低, 即  $S1F2 < S1F3 < S1F4$ 、 $S2F4 < S2F6 < S2F8$ 、 $S4F8 < S4F12 < S4F16$ 。

由表 3 可知, 各组建鲤肥满度之间无显著性差异( $P>0.05$ ), 但 9 个周期性饥饿组分别在饥饿 1、2、4 天的情况下, 增加相应的再投喂天数各组的肥满度逐渐上升; 各组建鲤肝体比之间无显著性差异( $P>0.05$ ), 同样 9 个周期性饥饿组分别在饥饿 1、2、4 天的情况下, 增加相应的再投喂天数各组的肝体比逐渐上升; 各组建鲤脏体比之间无显著性差异( $P>0.05$ )。

### 2.2 周期性饥饿再投喂对建鲤体组成的影响

由表 4 可知, 各组全鱼水分、粗蛋白、灰分含量

无显著性差异( $P>0.05$ ), 全鱼粗脂肪含量 S1F4、S2F6、S2F8、S4F12、S4F16 组与对照组无显著性差异( $P>0.05$ ), 剩余各组均显著性小于对照组( $P<0.05$ ), 而且分别在饥饿 1、2、4 天的情况下, 增加相应的再投喂天数各周期性饥饿组全鱼粗脂肪含量逐渐上升。

由表 5 可知, 各组肝脏水分、粗蛋白含量无显著性差异( $P>0.05$ ); 9 个周期性饥饿组肝脏粗脂肪含量均显著性高于对照组( $P<0.05$ ), 而且分别在饥饿 1、2、4 天的情况下, 增加相应的再投喂天数各周期性饥饿组肝脏粗脂肪含量逐渐上升。

由表 6 可知, 各组鱼胴体水分、粗蛋白、粗脂肪均无显著性差异( $P>0.05$ )。

由表 7 可知, 9 个周期性饥饿组肠道蛋白酶活性都高于对照组, 其中 S1F3、S1F4、S2F6、S2F8、S4F8、S4F12、S4F16 组显著性高于对照组( $P<0.05$ ), 并呈现出  $S1F2 < S1F3 < S1F4$ 、 $S2F4 < S2F6 < S2F8$ 、 $S4F8 < S4F12 < S4F16$  的趋势; 各试验组淀粉酶活性都显著性高于对照组( $P<0.05$ ); 各试验组脂肪酶活性都高于对照组, 其中 S1F3、S1F4、S2F8 组显著性高于对照组( $P<0.05$ ), 并呈现出  $S1F2 < S1F3 < S1F4$ 、 $S2F4 < S2F6 < S2F8$ 、 $S4F8 < S4F12 < S4F16$  的趋势; 各试验组 SOD 酶活性都显著性高于对照组( $P<0.05$ ), 并呈现出  $S1F2 > S1F3 > S1F4$ 、 $S2F4 > S2F6 > S2F8$ 、 $S4F8 > S4F12 > S4F16$  的趋势。

## 3 讨论

### 3.1 周期性饥饿再投喂对建鲤生长的影响

鱼类的补偿生长分为 4 类: 超补偿生长、完全补偿生长、部分补偿生长、无补偿生长。本试验结束后

表 2 不同投喂模式对建鲤增重率、特定生长率、摄食率、饵料系数的影响

Tab.2 Effect of different feeding mode on weight gain ratio, specific growth rate, feeding rate and feed conversion ratio of *C. carpio* var. Jian

组别	初均重(g)	末均重(g)	增重率(100×%)	特定生长率(%/d)	摄食率(%/d)	饵料系数
对照组	1.50±0.12	37.96±3.35 <sup>a</sup>	24.31±2.23 <sup>a</sup>	5.37±0.24 <sup>b</sup>	3.16±0.26 <sup>c</sup>	1.46±0.19 <sup>a</sup>
S1F2	1.50±0.08	26.06±0.68 <sup>c</sup>	16.37±0.25 <sup>c</sup>	7.13±0.33 <sup>a</sup>	5.11±0.07 <sup>ab</sup>	1.41±0.23 <sup>a</sup>
S1F3	1.51±0.11	30.21±2.35 <sup>bc</sup>	19.14±0.91 <sup>bc</sup>	6.67±0.29 <sup>a</sup>	4.45±0.18 <sup>b</sup>	1.37±0.11 <sup>ab</sup>
S1F4	1.50±0.06	32.53±2.75 <sup>abc</sup>	20.69±1.06 <sup>abc</sup>	6.41±0.11 <sup>a</sup>	4.25±0.21 <sup>b</sup>	1.33±0.12 <sup>b</sup>
S2F4	1.51±0.08	24.34±1.67 <sup>c</sup>	15.89±0.64 <sup>c</sup>	6.98±0.24 <sup>a</sup>	5.49±0.29 <sup>a</sup>	1.44±0.15 <sup>a</sup>
S2F6	1.50±0.04	29.28±2.91 <sup>bc</sup>	18.19±1.12 <sup>bc</sup>	6.61±0.16 <sup>a</sup>	4.96±0.31 <sup>ab</sup>	1.41±0.17 <sup>a</sup>
S2F8	1.51±0.04	34.83±5.83 <sup>ab</sup>	22.22±2.24 <sup>ab</sup>	6.53±0.19 <sup>a</sup>	4.47±0.36 <sup>b</sup>	1.32±0.21 <sup>b</sup>
S4F8	1.50±0.12	25.58±3.71 <sup>c</sup>	16.05±1.43 <sup>c</sup>	7.09±0.21 <sup>a</sup>	5.37±0.39 <sup>a</sup>	1.45±0.21 <sup>a</sup>
S4F12	1.51±0.05	27.15±1.63 <sup>bc</sup>	18.11±0.62 <sup>bc</sup>	6.43±0.18 <sup>a</sup>	5.14±0.21 <sup>ab</sup>	1.44±0.14 <sup>a</sup>
S4F16	1.51±0.07	32.31±6.42 <sup>abc</sup>	20.54±2.47 <sup>abc</sup>	6.36±0.25 <sup>a</sup>	4.51±0.54 <sup>b</sup>	1.43±0.31 <sup>a</sup>

注: 同一列数据上标字母相同者表示差异不显著( $P>0.05$ ), 不同者表示差异显著( $P<0.05$ )

表3 不同投喂模式对建鲤肥满度、脏体比、肝体比的影响  
Tab.3 Effect of different feeding mode on condition factor, viscerasomatic index and hepatosomatic index of *C. carpio* var. Jian

组别	肥满度	脏体比(%)	肝体比(%)
对照组	2.73±0.11	10.53±1.39	2.91±0.41
S1F2	2.81±0.21	10.46±0.61	2.49±0.45
S1F3	2.82±0.16	11.03±0.97	2.79±0.35
S1F4	2.84±0.05	10.97±1.44	2.85±0.39
S2F4	2.65±0.11	11.72±1.13	2.71±0.41
S2F6	2.77±0.15	10.38±0.35	2.73±0.35
S2F8	2.81±0.18	10.66±0.47	2.94±0.26
S4F8	2.75±0.16	10.76±0.95	2.67±0.33
S4F12	2.81±0.12	10.53±0.63	2.74±0.28
S4F16	2.82±0.08	10.78±0.44	2.95±0.17

注: 同一列数据上标字母相同者表示差异不显著( $P>0.05$ ), 不同者表示差异显著( $P<0.05$ )

表4 不同投喂模式对建鲤全鱼营养成分的影响  
Tab.4 Effect of different feeding mode on whole body composition of *C. carpio* var. Jian

组别	水分(%)	粗蛋白(%)	粗脂肪(%)	粗灰分(%)
对照组	71.81±0.54	15.46±0.13	10.58±0.48 <sup>a</sup>	2.31±0.04
S1F2	72.92±0.15	15.41±0.16	8.88±0.25 <sup>c</sup>	2.25±0.03
S1F3	72.55±0.42	15.31±0.24	9.41±0.41 <sup>b</sup>	2.35±0.06
S1F4	71.91±0.59	15.38±0.09	9.78±0.58 <sup>ab</sup>	2.29±0.07
S2F4	71.39±0.29	15.24±0.14	9.55±0.33 <sup>b</sup>	2.25±0.02
S2F6	72.25±0.57	15.43±0.12	9.83±0.59 <sup>ab</sup>	2.32±0.05
S2F8	71.27±0.41	15.41±0.13	10.52±0.41 <sup>a</sup>	2.28±0.04
S4F8	71.42±0.71	15.55±0.11	9.51±0.62 <sup>b</sup>	2.26±0.03
S4F12	70.62±0.68	15.55±0.19	10.07±0.63 <sup>ab</sup>	2.29±0.04
S4F16	71.61±0.73	15.61±0.27	10.46±0.63 <sup>a</sup>	2.31±0.04

注: 同一列数据上标字母相同者表示差异不显著( $P>0.05$ ), 不同者表示差异显著( $P<0.05$ )

表5 不同投喂模式对建鲤肝脏营养成分的影响  
Tab.5 Effect of different feeding mode on liver composition of *C. carpio* var. Jian

组别	水分(%)	粗蛋白(%)	粗脂肪(%)
对照组	66.46±0.02	12.61±0.23	13.73±0.31 <sup>b</sup>
S1F2	66.76±0.12	12.42±0.21	16.58±0.23 <sup>a</sup>
S1F3	68.55±0.14	12.53±0.17	16.81±0.55 <sup>a</sup>
S1F4	67.02±0.06	12.96±0.11	17.63±0.29 <sup>a</sup>
S2F4	67.82±0.08	11.68±0.31	17.46±0.92 <sup>a</sup>
S2F6	68.28±0.28	12.51±0.16	17.56±1.34 <sup>a</sup>
S2F8	67.21±0.08	12.97±0.23	18.06±0.41 <sup>a</sup>
S4F8	67.42±0.21	12.07±0.21	16.87±0.65 <sup>a</sup>
S4F12	66.62±0.39	12.57±0.17	17.54±0.71 <sup>a</sup>
S4F16	66.75±0.34	12.46±0.27	18.03±1.31 <sup>a</sup>

注: 同一列数据上标字母相同者表示差异不显著( $P>0.05$ ), 不同者表示差异显著( $P<0.05$ )

表6 不同投喂模式对建鲤胴体营养成分的影响  
Tab.6 Effect of different feeding mode on carcass composition of *C. carpio* var. Jian

组别	水分(%)	粗蛋白(%)	粗脂肪(%)
对照组	71.01±0.35	17.64±0.46	8.61±0.63
S1F2	70.78±0.36	17.52±0.63	8.42±0.57
S1F3	70.62±0.49	18.02±0.82	8.81±0.61
S1F4	70.93±0.34	17.95±0.69	8.84±0.65
S2F4	70.83±0.43	17.78±0.55	8.45±0.78
S2F6	70.59±0.41	17.33±0.71	8.44±0.49
S2F8	71.04±0.29	18.41±0.68	8.52±0.54
S4F8	70.66±0.48	18.25±0.67	8.66±0.59
S4F12	71.09±0.11	17.94±0.56	9.08±0.42
S4F16	70.77±0.45	18.47±0.73	9.03±0.56

注: 同一列数据上标字母相同者表示差异不显著( $P>0.05$ ), 不同者表示差异显著( $P<0.05$ )

表7 不同投喂模式对建鲤消化酶和肝脏SOD活性的影响  
Tab.7 Effect of different feeding mode on digestive enzyme activities and SOD of *C. carpio* var. Jian

组别	肠道蛋白酶 (U/μg)	肠道淀粉酶 (U/mg)	肠道脂肪酶 (U/mg)	肝脏 SOD(U/mg)
对照组	72.01±2.21 <sup>c</sup>	17.64±0.17 <sup>c</sup>	8.61±0.01 <sup>b</sup>	324.15±12.63 <sup>c</sup>
S1F2	78.71±2.57 <sup>c</sup>	22.52±0.16 <sup>b</sup>	10.42±0.21 <sup>ab</sup>	388.78±7.94 <sup>a</sup>
S1F3	86.49±5.02 <sup>ab</sup>	21.02±0.24 <sup>b</sup>	11.81±0.16 <sup>a</sup>	366.42±9.61 <sup>ab</sup>
S1F4	89.93±3.34 <sup>a</sup>	24.95±0.21 <sup>a</sup>	11.84±0.18 <sup>a</sup>	352.63±11.56 <sup>b</sup>
S2F4	82.59±4.16 <sup>bc</sup>	23.78±0.13 <sup>ab</sup>	9.37±0.11 <sup>b</sup>	379.69±14.72 <sup>a</sup>
S2F6	89.55±3.04 <sup>a</sup>	25.33±0.13 <sup>a</sup>	10.44±0.06 <sup>ab</sup>	353.78±10.22 <sup>b</sup>
S2F8	93.44±2.07 <sup>a</sup>	23.41±0.21 <sup>b</sup>	11.52±0.15 <sup>a</sup>	352.21±12.44 <sup>b</sup>
S4F8	80.78±2.43 <sup>b</sup>	24.25±0.16 <sup>ab</sup>	8.66±0.16 <sup>b</sup>	377.32±10.06 <sup>a</sup>
S4F12	85.89±4.26 <sup>ab</sup>	24.44±0.28 <sup>ab</sup>	9.08±0.04 <sup>b</sup>	364.54±8.45 <sup>ab</sup>
S4F16	88.91±3.68 <sup>a</sup>	23.17±0.67 <sup>b</sup>	9.13±0.11 <sup>b</sup>	348.25±13.34 <sup>b</sup>

注: 同一列数据上标字母相同者表示差异不显著( $P>0.05$ ), 不同者表示差异显著( $P<0.05$ )

S1F4、S2F8、S4F16 组建鲤的增重率均与对照组无显著性差异, 鱼体增重率与在相同时间(饥饿时间+恢复喂食时间)持续喂食的鱼差异不显著, 表现为完全补偿生长。饥饿处理后恢复摄食的动物若最终体重低于持续投喂组, 但恢复生长期的生长速度超过了对照组水平, 即发生了部分补偿生长(Mersmann, 1987)。本研究结果表明 S1F2、S1F3、S2F4、S2F6、S4F8、S4F12 组建鲤恢复摄食期间特定生长率都显著高于对照组, 因此均发生了部分补偿生长, 这与黄鳍鲷(*Pleuronectes asper*)(邓利等, 1999)、南方鲇(*Silurus meridionalis* Chen) (Paul *et al*, 1995)和奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*) (Wang, 2000)的研究结果相似。

影响补偿生长的因素有很多, 本试验中主要考虑的因素有两个: 营养受限(或饥饿)的持续时间, 营养恢复的持续时间。Jobling 等(1994)研究结果显示, 短期(3 周以内)禁食不足以引起大西洋鳕(*Gadus morhua*)的补偿生长效应; 而 8 周禁食处理的鳕鱼表现出完全补偿生长能力。类似地, 真鲷(*Phoxinus phoxinus*)经限食处理(饥饿和维持日粮)4 天后不能产生补偿生长效应, 而限食 16 天后则出现完全补偿生长(Russell *et al*, 1992)。所以补偿生长需要适度的饥饿时间予以激发。另外在营养恢复过程中鱼体的特定生长率(SGR)一般表现为先上升再恢复至正常水平; 但如果恢复时间太短生长率尚未恢复至正常水平, 就不能体现补偿生长效应(吴立新等, 2000); 反之, 恢复生长时间延长, 补偿生长效应在一定程度上就被掩盖而不能体现。因此, 可以激发鱼类产生补偿生长的饥饿时间和恢复时间的筛选是能否产生补偿生长的关键。从本试验结果可以看出, 9 个周期性饥饿再投喂组增重率上呈现出  $S1F2 < S1F3 < S1F4$ 、 $S2F4 < S2F6 < S2F8$ 、 $S4F8 < S4F12 < S4F16$  的现象, 表明在单周期内饥饿天数固定的情况下, 延长再投喂天数可以明显提高鱼体的增重率, 其中  $S1F4$ 、 $S2F8$ 、 $S4F16$  组的增重率与持续投喂的对照组相近。

目前关于动物补偿生长的生理机制尚有争议, 但主要有 3 种观点: (1) 限食使动物的代谢水平降低, 当恢复进食时, 较低的代谢水平能持续一段时间, 这种代谢支出的降低使动物在恢复生长阶段摄入同样的能量用于生长的比例增大, 从而提高了食物转化率(邓利等, 1999; Dobson *et al*, 1984); (2) 限食后恢复投喂时, 动物立即进行快速的物质合成, 代谢水平也迅速升高, 不可能通过降低代谢水平而明显改善食物转化率。补偿生长的产生是动物在恢复喂食后的一段时间内通过食欲增加, 大幅度提高摄食水平来实现的(李程琼等, 2005); (3) 动物在恢复喂食阶段不仅增加食欲, 提高摄食水平, 而且同时改善食物转化率。补偿生长效应是这两种因素共同作用的结果(Luquet *et al*, 1995)。在本试验中, 9 个周期性饥饿再投喂的方式与对照组相比都降低了建鲤的饵料系数, 提高建鲤对饵料的利用率, 且再投喂期间的摄食率均显著高于对照组。本研究结果表明, 建鲤在饥饿后的恢复生长中出现的补偿生长效应是可能通过提高摄食率和食物转化率共同实现的。

### 3.2 周期性饥饿再投喂对建鲤体组成的影响

在饥饿期间, 鱼体动用自身储存物质提供能量,

但不同的鱼类, 对身体储存能量的利用型式不同(谢小军等, 1998)。本研究结果表明, 周期性饥饿再投喂对建鲤的肥满度、全鱼的粗蛋白、水分含量的影响不大。但显著影响鱼体中粗脂肪的含量, 并呈现出  $S1F2 < S1F3 < S1F4$ 、 $S2F4 < S2F6 < S2F8$ 、 $S4F8 < S4F12 < S4F16$  的现象, 即在相同的饥饿天数下, 增加再投喂天数的比例使鱼体的脂肪含量升高, 但均低于对照组, 这可能说明在周期性的饥饿过程中建鲤主要以脂肪作为能量物质, 而且饥饿频率越强脂肪被消耗的越多。这与姜志强等(2002)等对美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)的研究结果相似。另外, 本试验中 9 个周期性饥饿再投喂组肥满度和肝体比均无显著差异, 对肝脏、胴体和全鱼的营养组成数据分析得出, 周期性饥饿再投喂降低了全鱼脂肪含量, 增加了肝脏脂肪含量, 这说明在本试验条件下, 饥饿所消耗的脂肪来源于鱼体内脏(去肝脏), 也就说对建鲤进行饥饿再投喂处理, 所引起的脂肪变化可能是由肠系膜脂肪提供的。

### 3.3 周期性饥饿再投喂对建鲤肠道消化酶及肝脏抗氧化酶活性的影响

本试验中, 各试验组的肠道蛋白酶、脂肪酶活力均高于对照组且呈现出  $S1F2 < S1F3 < S1F4$ 、 $S2F4 < S2F6 < S2F8$ 、 $S4F8 < S4F12 < S4F16$  的现象, 各试验组淀粉酶活力也高于对照组, 说明在饥饿状态下建鲤可以提高饲料中蛋白、糖类和脂肪的消化率, 维持自身生长需要。肠道在水生动物体内具有重要的消化吸收功能, 其破坏程度和恢复程度都直接影响到动物的生理机能, 从而对建鲤补偿生长产生较为直接的影响。水生动物在饥饿后恢复投喂, 通过调节身体酶的活力, 以达到积极利用体内的储存物质以维持生命的目的。消化酶的分泌和活力增加是水生动物能出现补偿生长的原因之一, 本试验中周期性饥饿的建鲤增重率的变化和其肠道蛋白酶和脂肪酶变化有较高的一致性。蛋白酶和脂肪酶呈现出  $S1F2 < S1F3 < S1F4$ 、 $S2F4 < S2F6 < S2F8$ 、 $S4F8 < S4F12 < S4F16$  现象, 且均高于对照水平, 这与日本沼虾(*Macrobrachium nipponens*)的研究结果类似(李志华等, 2007)。而付世建等(1999)对南方鲇幼鱼进行长期饥饿后, 发现其消化器官的实质性变化将导致这些器官的消化酶分泌量降低。此外, Yufera 等(1993)也提出了类似的推论, 即长期饥饿后仔鱼呈现出广泛的组织学衰退, 特别是消化道和附属腺体。因为本试验饥饿时间较短(1—4 天), 长时间的饥饿建鲤消化酶活力变化尚有待

进一步研究。在本试验中,饥饿时间并没有引起的消化酶活力下降,反而使消化酶活力高于对照组,说明短期饥饿可以一定程度上诱导消化酶活力的升高。鱼类在饥饿过程中除分解体内储能物质维持生命活动外,还会改变一些重要酶的活性,对新陈代谢进行调节,以对机体起到保护作用。SOD是存在于生物体内的非常重要的抗氧化酶,也是作为一种特异性消除超氧自由基的酶,主要负责过氧化和噬菌作用造成的组织损伤的防御保护作用,SOD活力越高,免疫力也越高(Munoz *et al*, 2000)。本试验中各试验组的SOD活力都不同程度地高于对照组,而且在一定的饥饿天数下,延长再投喂天数 SOD 活力逐渐降低并与对照组接近,这说明经过一定时间饥饿胁迫后,可能诱导 SOD 活性升高来应对饥饿胁迫,而后再投喂阶段食物的再供给,建鲤又重新获得了营养,减轻了饥饿胁迫,并随着再投喂时间的延长,建鲤的饥饿胁迫逐渐减轻,使得 SOD 活性又逐渐下降。

#### 参 考 文 献

- 丁福红, 雷霖霖, 刘新富等, 2010. 饥饿对大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*)雌核发育二倍体仔鱼前期生长的影响. 海洋与湖沼, 41(2): 192—198
- 王 岩, 2001. 海水养殖罗非鱼补偿生长的生物能量学机制. 海洋与湖沼, 32(3): 233—239
- 邓 利, 张 波, 谢小军, 1999. 南方鲇继饥饿后的恢复生长. 水生生物学报, 23(2): 167—172
- 付世建, 邓 利, 张文兵, 1999. 南方鲇幼鱼胃和肝脏的组织结构及其在饥饿过程中的变化. 西南师范大学学报, 24(3): 336—342
- 李志华, 谢 松, 王军霞等, 2007. 间歇性饥饿对日本沼虾生长和几种消化酶的影响. 水产学报, 31(4): 456—462
- 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
- 吴立新, 董双林, 2000. 水产动物继饥饿或营养不足后的补偿生长研究进展. 应用生态学报, 11(6): 943—946
- 沈文英, 林浩然, 张为民, 1999. 饥饿和再投喂对草鱼鱼种生物化学组成的影响. 动物学报, 45(4): 404—412
- 张 波, 谢小军, 2000. 南方鲇的饥饿代谢研究. 海洋与湖沼, 31(5): 480—484
- 崔奕波, 王少梅, 陈少莲, 1993. 饥饿状态下草鱼的代谢率和氮排泄率及其与体重的关系. 水生生物学报, 17(4): 375—376
- 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—189
- Alim Z, Jauncey K, 2004. Evaluation of mixed feeding schedules with respect to compensatory growth and body composition in African catfish *Clarias gariepinus*. Aquaculture Nutrition, 10: 39—45
- Andreas Heide, Atle Foss, Sigurd O *et al*, 2006. Compensatory growth and fillet crude composition in juvenile Atlantic halibut: Effects of short term starvation periods and subsequent feeding. Aquaculture, 261: 109—117
- Auckland J N, Morris T R, Jennings R C, 1969. Compensatory growth after under nutrition in market turkeys. British Poultry Sci, 10: 293—302
- Cui Z H, Wang Y, Qin J G, 2006. Compensatory growth of group-held gibel carp, *Carassius auratus gibelio* (Bloch), following feed Deprivation. Aquaculture Research, 37: 313—318
- Dobson S H, Holmes R M, 1984. Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. J Fish Biol, 25: 649—656
- Jobling M, MeLoy O H, Santos J D *et al*, 1994. The compensatory growth response of the Atlantic cod: effects of nutritional history. Aquaculture International, 2: 75—90
- Jyrki Nikki, Juhani Pirhonen, Malcolm Jobling *et al*, 2004. Compensatory growth in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), held individually. Aquaculture, 235: 285—296
- Lee K H, Leeson S, 2001. Performance of broilers fed limited quantities of feed or nutrients during seven to fourteen days of age. Poultry Sci, 80: 446—454
- Luquet P, Oteme Z J, Cisse A, 1995. Evidence for compensatory growth and its utility in the culture of *Heterobranchius longifilis*. Aquat Living Resour, 8: 389—394
- Mersmann H J, 1987. Compensatory growth in finishing pig after feeding restriction. J Anim Sci, 64: 752—764
- Munoz M, Cedeno R, Rodriguez J *et al*, 2000. Measurement of reactive oxygen intermediate production in haemocytes of the penaeid shrimp, *Penaeus vannamei*. Aquaculture, 191: 89—107
- Paul A J, Paul J M, Smith R L, 1995. Compensatory growth in Alaska yellow fin sole, *Pleuronectes asper*, following food deprivation. J Fish Biol, 46: 442—448
- Plavnik I, Hurwitz S, 1991. Response of broiler chicks and turkey poults to feed restriction of varied severity during early life. British Poultry Sci, 32: 343—352
- Russell N R, Wootton R J, 1992. Appetite and growth compensation in the European minnow, *Phoxinus phoxinus* (Cyprinidae) following short periods of food restriction. Environ Biol Fish, 34: 277—285
- Van Dijk P L M, Hardewig I, Holker F, 2005. Energy reserves during food deprivation and compensatory growth in juvenile roach: the importance of season and temperature. Journal of Fish Biology, 66(1): 167—181
- Wang Y, 2000. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*, reared in seawater. Aquaculture, 189: 101—108
- Yufero M, Pascuale 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(2): 259—272

Zhu X M, Xie S Q, Lei W *et al*, 2005. Compensatory growth in

the Chinese long snout catfish, *Leiocassis longirostris* following feed deprivation: temporal patterns in growth, nutrient deposition, feed intake and body composition. *Aquaculture*, 248: 307—314

## THE EFFECTS OF THE CYCLIC STARVATION-REFEEDING ON GROWTH, BODY COMPOSITION AND DIGESTIVE ENZYME ACTIVITIES IN *CYPRINUS CARPIO* VAR. JIAN

QIAO Qiu-Shi<sup>1, 2</sup>, JIANG Guang-Zhen<sup>1</sup>, LIU Wen-Bin<sup>1</sup>, XIA Wei<sup>1</sup>, LIU Zhao-Pu<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory for Aquaculture Nutrition of Jiangsu Province, College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing, 210095; 2. Key Laboratory for Marine Biology of Jiangsu Province, College of Resource and Environment, Nanjing Agricultural University, Nanjing, 210095)

**Abstract** This experiment was conducted to investigate the effect of repetitive “starvation-refeeding” on growth, body composition and digestive enzyme activities in *Cyprinus carpio* var. Jian with initial weight of (1.5±0.2)g. The control group was fed everyday for 60 days, while the test groups were subjected to 9 different repetitive cycles of starvation-refeeding (S1F2, S1F3, S1F4, S2F4, S2F6, S2F8, S4F8, S4F12, S4F16). “S” means starvation-days, “F” means re-feeding-days, respectively. The results showed that weight gain ratio (*WGR*) increased with increasing refeeding days within a certain starvation-days, having the trend of (S1F2 < S1F3 < S1F4; S2F4 < S2F6 < S2F8; S4F8 < S4F12 < S4F16). No significant difference was observed in *WGR* between S1F4, S2F8, S4F16 and control group ( $P>0.05$ ). Feeding rate (*FR*) and specific growth rate (*SGR*) of all test groups were significantly higher than control group ( $P<0.05$ ). Besides, feed conversion ratio (*FCR*) of all test groups were lower than control group. No significant difference was observed in moisture, protein and ash content of whole fish composition ( $P>0.05$ ) in all groups. However lipid content of whole fish of all test groups were lower than that of control group. Within test groups, lipid content increased with increasing refeeding-days within a certain starvation-days. Intestinal digestive enzyme activities of all test groups were higher than that of control group ( $P<0.05$ ).

**Key words** *Cyprinus carpio* var. Jian, Starvation-refeeding, Growth, Body composition, Digestive enzyme activities