

文章编号: 1674-5566(2017)05-0699-07

DOI:10.12024/jsou.20170301975

饥饿循环处理对黄河鲤新品系幼鱼补偿生长性能的影响

苏胜彦^{1,2}, 盘文静¹, 张希昭¹, 黄才姬¹, 张成锋², 唐丹¹, 徐跑^{1,2}

(1. 南京农业大学 无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081; 2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心 农业部淡水渔业与种质资源利用重点实验室, 江苏 无锡 214081)

摘要: 为探究黄河鲤新品系幼鱼在饥饿-饱食循环状态下的生长补偿特点, 选用初始均质量(23.44 ± 3.21) g 的黄河鲤幼鱼 360 尾, 随机分成 4 个实验组, 每个实验组 3 个重复, 每个重复 30 尾鱼, 分别按处理组 A 组: 饥饿 5 d(S5) 饱食 20 d(F20); B 组: S7-F28; C 组: S15-F60; 对照组 Con: F75 的投喂方案饲养, 养殖实验为 75 d。研究表明: (1) 经过不同长时间的饥饿, 在恢复饱食投喂阶段, A 组的特定生长率(SGR) 为 1.70%, 显著高于 B 组的 1.08%、C 组的 0.87% 以及对照组 Con 的 0.60%; (2) 在饥饿阶段, 3 个处理组 A、B、C 的体长特定生长率(SGR_L) 显著低于对照组 Con; 当恢复投喂后, A 组、B 组的 SGR_L 则显著高于 C 组和对照组 Con; (3) 在饥饿阶段, A 组的肥满度特定生长率(SGR_K) 显著低于 B 组、C 组和对照组 Con, 但在恢复投喂阶段, 却显著高于 B 组、C 组和对照组 Con。 (4) 处理组 A 节省饲料率为 8.7%, 较另外两个处理组高。由试验结果可以看出, 饥饿 5 d 饱食 20 d 循环 3 次的投喂方式能激发幼鱼产生部分补偿生长效应, 且饲料投喂量最少。

关键词: 特定生长率; 补偿生长; 饥饿; 黄河鲤新品系幼鱼

中图分类号: S 965.1 **文献标志码:** A

黄河鲤 (*Cyprinus carpio haematopterus*) 是我国的淡水名鱼之一, 以体型好、抗旱能力强、饲料效率高而著称^[1]。对黄河鲤这一宝贵的物种资源进行合理地开发利用是适应当前鲤产业发展的重要途径。黄河鲤新品系是中国水产科学研究院淡水渔业研究中心在河南水产科学研究院研发的豫选黄河鲤基础上通过综合分子育种、杂交育种、基因组育种等手段, 以生长速度和肌肉中不饱和脂肪酸含量为目标, 经 3 代选育而成, 但是保证其优良性能的配套养殖技术仍需开展相关研究。

自然界中季节更替, 环境剧变或食物分布不均会导致鱼类经常受到饥饿或营养不足的胁迫^[2]。鱼类在经过饥饿胁迫后, 当恢复了正常的摄食条件时, 许多鱼类都能够表现出较适宜生长条件下鱼类高的生长速率。这种能够恢复甚至超过初始生长轨迹的现象称之为鱼类的补偿生长^[3]。限饲作为饲养管理和营养调控的重要手

段, 在水产动物补偿生长研究中被广泛利用。目前限饲的方式主要有两种: 一种是对营养平衡的日粮在数量上的限制, 一般在自由采食的基础上限制 20% ~ 25%; 另一种是对营养不平衡的日粮在质量上的限制, 主要是限制饲料的能量浓度^[4]。限饲影响动物的生长性能, 使动物的体增重在限饲阶段减少, 动物机体各个组织的代谢水平都有不同程度的降低^[5]。在鱼类补偿生长研究中, 常用的模式有“饥饿再恢复投喂”的饥饿模式和“饥饿—投喂—再饥饿—再投喂”的循环饥饿模式^[3,6-8]。MONTERRAT 等^[9]对金头鲷进行 1 周、2 周和 4 周的饥饿, 再恢复投喂。BYAMUNGU 等^[10]对三倍体杂交罗非鱼采用 F7 d + F5 d S2 d 的循环饥饿模式。由于幼鱼各生理机能尚未发育成熟, 长期饥饿可能导致幼鱼丧失发育能力, 而循环饥饿模式可以避免^[11]。

目前, 许多学者对鱼类的补偿生长进行研究, 常用的补偿生长指标有以特定生长率为主的

收稿日期: 2017-03-09 修回日期: 2017-05-12

基金项目: 中国水产科学研究院基本科研业务费(2016RC-LX03); “十二五”科技支撑计划(2012BAD26B02); 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心基本科研业务费(2015JBFM09)

作者简介: 苏胜彦(1982—), 男, 博士, 研究方向为统计遗传学、生物信息学。E-mail: susy@ffrc.cn

通信作者: 徐跑, E-mail: xup@ffrc.cn

生长性能指标,以水分、蛋白质等为主的鱼体成分指标和血清生化指标^[7-14],以特定生长率为主的生长性能指标是研究中最为重要和常用的指标。谢小军和邓利^[12]根据鱼类补偿量将补偿生长分为4类,超补偿生长(Over-compensatory growth)、完全补偿生长(Completely compensatory growth)、部分补偿生长(Partly compensatory growth)和不能补偿生长(Non-compensatory growth)。综合现有的鱼类补偿生长实验研究发现,恢复投喂后,饥饿组的体质量能够增加到甚至超过正常连续投喂组^[14-24],即出现超补偿生长和完全补偿生长,说明合理的限饲方案能够促进鱼类补偿生长。

本研究采用循环饥饿模式,饥饿期进行完全限饲。以体长、体质量和肥满度特定生长率为评价补偿生长性能的主要指标,目的在于探究黄河鲤新品系幼鱼在经过饥饿与饱食循环出现的状态后,其各生长性能指标的变化规律,为黄河鲤新品系的补偿生长研究提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 预试验与饲养管理

养殖试验在中国水产科学研究院淡水渔业研究中心南泉基地的一个两亩塘中进行,池塘平均水深2.5 m。试验所用黄河鲤新品系幼鱼由淡水渔业研究中心遗传育种研究室提供,驯化2周后,将360条体质健壮,规格和质量基本一致,初始体质量为 (23.44 ± 3.21) g的黄河鲤新品系幼鱼随机分入12个网箱(规格:1 m × 1 m × 1 m)中,试验共设置了3个试验处理组和一个对照组,每个组设置3个重复,每个重复30尾鱼。暂养期间每天投喂3次(8:30、12:30、16:30),每次投喂持续30 min,日投饵量为鱼体质量的3%~5%,并根据摄食及生长情况作适当的调整,每次投喂至表现饱食。

1.2 养殖试验

开始正式养殖试验前饥饿24 h,然后称量鱼体体质量、体长等生长指标,作为初始对照值。本试验采取了完全限饲再投喂的方式,而不是部分限饲。参考NIKKI等^[22],恢复投喂直至处理组中任意一组的相对摄食率与对照组的差异小于10%或者恢复投喂的时间是限食时间的4倍为止的方法,本试验将恢复投喂期设置为饥饿期的

4倍。所以试验期间,3个处理组A、B、C分别按照表格1所示投喂方式进行投喂,对照组Con同预试验以正常投喂方式进行投喂,养殖周期为75 d。所投喂的饲料为通威1 035池塘养鱼配合饲料。试验期间,每天记录每个网箱饲料的消耗量和死鱼情况,观察鱼的摄食情况。由于室外网箱养殖不易观察水中幼鱼是否饱食,因此在饥饿期结束后,投喂至接近饱食前,再多投一点料,直至10 min内网箱中不再能观察到摄食状态为止,可判断为达到饱食。

表1 正式养殖试验投喂方案

Tab. 1 The feeding scheme of the formal experiment

| 分组 Group | 投喂方案/d Feeding schedules | | | | | |
|-------------|--------------------------|----|----|----|----|----|
| | S1 | F1 | S2 | F2 | S3 | F3 |
| A | 5 | 20 | 5 | 20 | 5 | 20 |
| B | 7 | 28 | 7 | 33 | | |
| C | 15 | 60 | | | | |
| Con | 75 | | | | | |

注:表中S代表饥饿处理,F代表饱食投喂

Note: In this table S indicates Starvation and F indicates Feeding

所有处理组的幼鱼要在第一次饥饿阶段开始和结束时测定指标,除特别说明的条件。A组在第1、2次饥饿阶段前后测定生长指标(体质量、体长、体厚);B组在第1次饥饿阶段前后和第2次饥饿阶段开始前测定生长指标;C组分别在第1次饥饿阶段结束后以及恢复饱食第20天测定一次指标作为与其他组的对照;对照组Con分别第15、35天测定生长指标。试验期最后一天所有组均测定生长指标。为了不影响随后恢复投喂阶段幼鱼的正常生长,每次测量需要轻微的麻醉(丁香油),并尽量减少鱼体的损伤。每次测量生长指标前,要先饥饿24 h。

1.3 生长相关指标计算

特定生长率(specific growth rate, SGR)^[25]:

$$S_{GR} = (e^g - 1) \times 100\% \quad (1)$$

式中: $g = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1)$, W_2 、 W_1 分别为对应日期 t_2 和 t_1 的鱼体质量。

基于体长L的特定生长率(specific growth rate of body length, SGR_L)^[14]:

$$S_{GR_L} = 100\% \times 3(\ln L_2 - \ln L_1) / (t_2 - t_1) \quad (2)$$

式中: L_2 、 L_1 分别对应日期 t_2 和 t_1 的鱼体长。

基于肥满度K的特定生长率(specific growth rate of condition factor K, SGR_K)^[14]:

$$S_{GR_K} = 100\% \times (\ln K_2 - \ln K_1) / (t_2 - t_1) \quad (3)$$

式中: K_2 、 K_1 分别对应日期 t_2 和 t_1 的肥满度, $K = W/L^3$ 。

C_T 为饲料总消耗量。

肥满度(condition factor, C_F):

$$C_F(\%) = 100\% \times (W/L^3) \quad (4)$$

式中: W 为鱼体体质量(g); L 为鱼体体长(cm)。

1.4 数据统计与分析

试验数据用 SPSS 20.0 统计软件包中的单因素方差分析(One-Way ANOVA),用 Duncan 氏多重比较对各组间差异的显著性进行比较,所有结果均以平均值 \pm 标准误(Mean \pm SE)表示。

2 结果

2.1 不同饥饿-饱食循环投喂方式对黄河鲤新品系幼鱼特定生长率的影响

在 F1 阶段,即 A 组、B 组、C 组分别饥饿 5、7、15 d 后,再分别恢复投喂 20、28 和 60 d,对照组 Con 组正常投喂 15 d,A 组的特定生长率要显著高于其他 3 个组($P < 0.05$),且 3 个处理组特定生长率要比对照组的特定生长率高。但在最后一个恢复投喂期,4 个组的特定生长率无显著差异($P > 0.05$),但 A 组仍然表现出较高的特定生长率,B 组最低,而 C 组和对照组相差不大。从整个试验周期来看,对照组表现出较高的特定生长率,而 3 个处理组的特定生长率相对较低,但 A 组仍较 B、C 组高(图 1)。

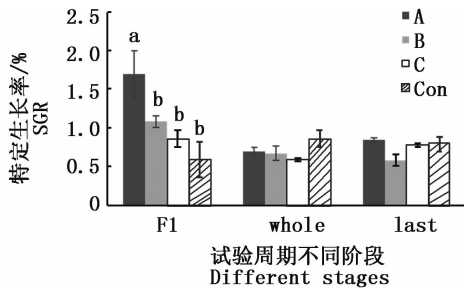


图 1 不同阶段 4 种投喂方式对黄河鲤新品系幼鱼特定生长率的影响

Fig. 1 Effects of four feeding schedules on the specific growth rate of juvenile *Cyprinus carpio haematopterus* new strain

图中 F1 代表第一次饥饿阶段结束后的恢复投喂阶段;whole 代表整个养殖时期,即 75 d;last 代表距试验结束 40 d 的投喂阶段。不同的小写字母代表组间差异显著(Duncan 氏多重比较, $P < 0.05$),图 2-5 同

F1 figure indicates there feeding period after the first starvation phase; Whole on behalf of the whole experiment period, 75 days; Last representatives from the test over 40 days of feeding period. Different lowercase letters represent restriction differences between groups (Duncan's test, $P < 0.05$), the same in fig. 2-5

2.2 不同饥饿-饱食循环投喂方式对黄河鲤新品系幼鱼体长的影响

3 个处理组在饥饿阶段体长的特定生长率显著低于对照组($P < 0.05$)。从 3 个处理组来看,体长的特定生长率随饥饿时间的增加而降低,处理组 C 的体长生长率要显著低于处理组 A 和处理组 B($P < 0.05$)。在恢复投喂阶段,处理组 A 和处理组 B 的体长生长率要显著高于处理组 C 和对照组 Con($P < 0.05$),见图 2~3。

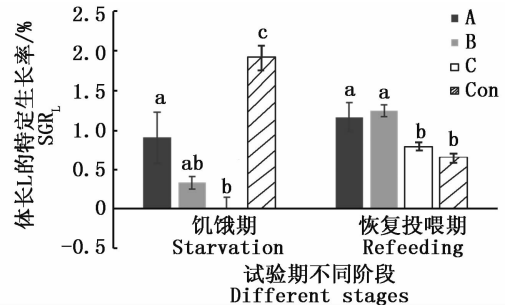


图 2 不同阶段 4 种投喂方式对黄河鲤新品系幼鱼体长特定生长率的影响

Fig. 2 Effects of four feeding schedules on the specific growth rate of body length of juvenile *Cyprinus carpio haematopterus* new strain

SGR_L 为一段时间内体长 L 的特定生长率,Starvation 为各处理组的第一次饥饿阶段(A、B、C 组分别为 5、7、15 d)和对照组 Con 的饱食 15 d;Refeeding 为 F1 结束后的饱食阶段(A、B、C 组分别为 20、28、60 d,Con 为 60 d),图 5 同

SGR_L is for the specific growth rate of body length L in a period of time, Starvation indicates the first starvation period of every treatment group (group A, B, C is 5, 7, 15 days respectively), but control group Con is feeding for 15 days; Re-feeding indicates the satiation period after F1 (group A, B, C, Con is 20, 28, 60, 60 days respectively), the same in fig. 5

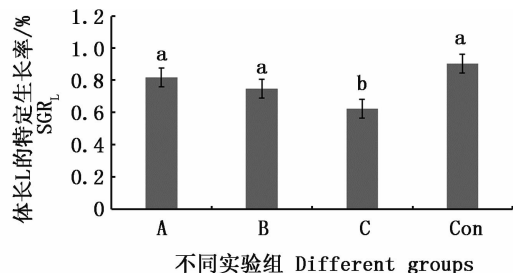


图 3 全阶段 4 种投喂方式对黄河鲤新品系幼鱼体长特定生长率的影响

Fig. 3 Effects of four feeding schedules on the specific growth rate of body length of juvenile *Cyprinus carpio haematopterus* new strain

2.3 不同饥饿-饱食循环投喂方式对黄河鲤新品系幼鱼肥满度的影响

由图4可以看出,在初始和结束两个点各处理组同对照组相比肥满度差异不显著($P > 0.05$)。与初始肥满度相比,各组均出现肥满度的下降。然而在饥饿阶段结束后(即CF_s阶段),处理组C的肥满度要显著低于其他3个组;在恢复投喂阶段结束后(即CF_f阶段)处理组B和处理组C的肥满度仍较对照组显著降低,而处理组A与对照组差异不显著($P < 0.05$)。

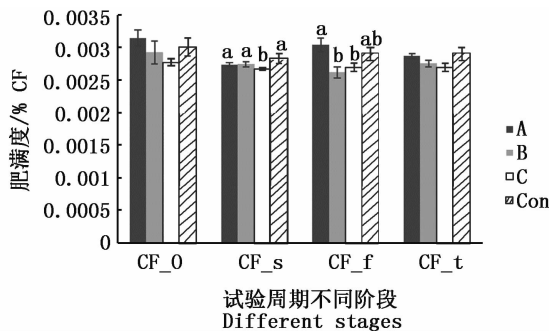


图4 不同阶段4种投喂方式对黄河鲤新品系幼鱼肥满度的影响

Fig. 4 Effects of four feeding schedules on the condition factor of juvenile *Cyprinus carpio haematopterus* new strain

由图5可以看出,在饥饿阶段(SGR_{K_s}),处理组A的肥满度特定增长率下降得最多,且显著低于其他3个组($P < 0.05$),而处理组B、C肥满度特定增长率降低程度与对照组无显著差异($P > 0.05$)。在恢复阶段(SGR_{K_f}),处理组A肥满度的特定增长率较其他3个组差异显著($P < 0.05$)。

2.4 不同饥饿-饱食循环投喂方式的饲料消耗量

在整个试验周期中,3个处理组A、B、C的投喂天数及饲料消耗量如表2所示。基于特定生长率的投喂试验效果来看,在没有统计学生长差异的情况下,处理组A节省饲料率为8.7%,较另外两个处理组高,且特定增长率显著高于对照组。

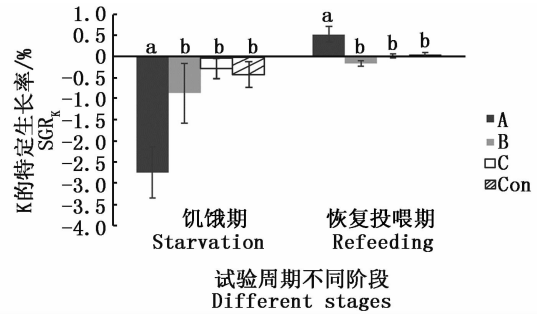


图5 不同阶段4种投喂方式对黄河鲤新品系幼鱼肥满度特定增长率的影响

Fig. 5 Effects of four feeding schedules on the specific growth rate of condition factor K of juvenile *Cyprinus carpio haematopterus* new strain

SGR_{K_s} 为一段时间内肥满度K的特定增长率
 SGR_{K_f} is for the specific growth rate of condition factor K in a period of time

3 讨论

本试验采取的限饲方案,可确保饱食投喂时期能够使经过限食后的黄河鲤新品系幼鱼有足够的时间来恢复甚至超速生长,而不至于在还没有完全恢复生长速度时就停止试验或者开始新一个阶段的限食。频繁的刺激会导致鱼体应激过大而造成生长迟缓,也不利于鱼体能量的积累^[9],金头鲷饥饿2周后体质量下降30.5%,即便恢复投喂8周后,体质量均未赶上同期持续投喂饲料组^[18]。斑点叉尾鲴幼鱼经过4周的完全限饲后,基本丧失了补偿生长的潜力^[26]。本试验的最后阶段,处理组C与对照组的特定增长率无显著差异($P > 0.05$),说明黄河鲤新品系幼鱼经过15d的完全限饲未丧失补偿生长的潜力。虽然整个阶段中,对照组的特定增长率较3个处理组高,但在试验的最后一个饱食阶段,对照组A的特定增长率仍旧较对照组和处理组B、C高,这与HEIDE等^[25]的研究结果一致。这说明,饥饿5d后恢复投喂饲料至饱食20d的投喂方式能够有效激发出黄河鲤新品系幼鱼因饥饿造成的补偿生长,且这种趋势显著高于正常投喂状态下的对照组($P < 0.05$),并且试验在鱼体仍处于补偿生长的阶段结束。

表 2 不同投喂方式的饲料消耗量
Tab.2 Feed consumption of different feeding methods

| 分组 Group | 不同指标 Different index | | | | |
|----------|----------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|--|
| | 投喂天数/d Feeding days | CT/kg | 节省饲料率/% Feed rate | SGR/% | |
| A | 60 | 3.42(±0.07) ^a | 8.7% | 1.70(±0.51) ^a | |
| B | 62 | 3.52(±0.15) ^b | 5.9% | 1.08(±0.13) ^b | |
| C | 60 | 3.46(±0.16) ^b | 7.4% | 0.87(±0.18) ^b | |
| Con | 75 | 4.36(±0.19) ^b | | 0.60(±0.40) ^b | |

注:表中不同小写字母代表组间差异显著($P < 0.05$)

Note: In this table different letters denote significant differences between treatments ($P < 0.05$)

大量有关于鱼类的研究主要侧重于以体质量作为主要生长指标。BAVČEVIĆ等^[14]认为,传统补偿生长试验仅仅关注体质量,也应当要考虑体长(或者其他与体长相关的指标,如肥满度)作为补偿生长的指标。用体长的特定生长率(SGR_L)和肥满度的特定生长率(SGR_K),即测试时生长区间的指数增长来估算体长与肥满度的增长,从而研究补偿生长期间鱼体的体长是否存在一定的影响。本试验结果表明,在饥饿期间,黄河鲤幼鱼的体长特定生长率会显著低于对照组($P < 0.05$),说明当饥饿时间超出了鱼体耐受范围时,有可能这种刺激会导致鱼体正常生长机能紊乱,从而导致鱼体体长的增长要低于正常投喂状态下的鱼。随着饥饿时间的增加,鱼体体长的增长速度逐渐减慢,且要显著低于正常投喂状态下的鱼体长特定生长率。而恢复投喂期间,处理组 A、B 的体长特定生长率却显著高于对照组 Con($P < 0.05$),说明适宜的饥饿时长(5 d 或 7 d)能够有效激发黄河鲤新品系幼鱼的体长补偿生长能力。

对肥满度的分析表明,与初始肥满度相比,各组均出现肥满度的下降。饥饿阶段结束后,处理组 C 的肥满度显著低于其他组,在恢复投喂阶段后,处理组 A 与对照组差异不显著。这说明,长时间(15 d)的饥饿会导致鱼体肥满度较正常投喂时候降低,且恢复投喂后无明显改善;较长时间(7 d)的饥饿虽然不会导致肥满度较正常投喂状态下的显著降低,但是恢复阶段却不能赶上正常投喂组;短期饥饿(5 d)虽然会使鱼体较初始状态下消瘦,但是经过恢复投喂后依然能保持正常的肥满度。总的来说,饥饿能够导致鱼体肥满度下降。这与 LAV 等^[14]的研究结果不一致,但具体的机制与可能存在的原因仍有待进一步研究。饥饿期间处理组 A 的肥满度特定生长率

显著低于对照组 Con($P < 0.05$),处理组 C 的肥满度要显著低于其他 3 个组。但处理组 A 在恢复投喂期间却显著高于对照组($P < 0.05$)。也就是说,经过 5 d 的饥饿,鱼体肥满度下降最快,适当时长的饥饿(5 d)能够有效激发鱼体对肥满度的补偿生长,且这种效果较对照组 Con 明显得多。处理组 A 的节省饲料率较另外两个处理组高,说明 A 组方案相比于其他方案更加经济。综合分析结果,可知饥饿 5 d 饱食 20 d 循环 3 次的投喂方式能激发黄河鲤幼鱼产生部分补偿生效应,且节省 8.7% 的饲料投喂量,该结果可为进一步的黄河鲤幼鱼补偿发育研究和基于补偿生长的养殖技术提供参考。

尽管现有的研究表明,可能利用补偿生长原理来改善鱼类养殖技术与环境,改善鱼的生长性能,例如“饥饿-饱食”的循环喂养模式可以避免因为长期饥饿导致的鱼体无法完全补偿损失的体重且能够有较好的补偿生长效果^[8]。但是在实际养殖生产当中,虽然有报道利用补偿生长原理进行有效改善投喂方法的实例^[27],但是由于对其产生的机制还不能够完全解释,因此要拿出一套有针对性和操作性的投喂方案,还需要对已有的实验方案进行总结与改进,从分子、组织、群体等方面深入了解补偿生长产生的机制。

参考文献:

- [1] 佟雪红,董在杰,缪为民,等. 建鲤与黄河鲤的 RAPD 分子标记及其杂交优势的遗传分析[J]. 广东海洋大学学报, 2007, 27(1): 1-6.
TONG X H, DONG Z J, MIAO W M, et al. RAPD molecular markers between Jian carp and Huanghe carp and genetic analysis of heterosis[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2007, 27(1): 1-6.
- [2] 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.
WU L X, DONG S L. Advance in studies on compensatory growth of aquatic animals after starvation or undernutrition [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11 (6): 943-946.
- [3] ALI M, NICIEZA A, WOOTTON R J. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression [J]. Fish and Fisheries, 2003, 4(2): 147-190.
- [4] 崔德汶, 任有蛇, 张春香. 限制饲喂与补偿生长在羊生产中利用的研究进展[J]. 中国草食动物科学, 2014, 34(4): 63-65, 75.
CUI D W, REN Y S, ZHANG C X. Progress in application of feed restriction and compensatory growth in the sheep production[J]. China Herbivore Science, 2014, 34(4): 63-65, 75.
- [5] 许雪萍. 早期和后期限饲对肉鸡胸肌生长的影响及其机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
XU X P. Effects of early and later feed restriction on the pectoralis major growth and its underlying mechanisms in broiler chickens [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2007.
- [6] TURANO M J, BORSKI R J, DANIELS H V. Effects of cyclic feeding on compensatory growth of hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) foodfish and water quality in production ponds [J]. Aquaculture Research, 2008, 39(14): 1514-1523.
- [7] VELÁZQUEZ M, ZAMORA S, MARTÍNEZ F J. Influence of environmental conditions on demand-feeding behaviour of gilthead seabream (*Sparus aurata*) [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2004, 20(6): 536-541.
- [8] 盘文静. 不同饥饿方式对鱼类补偿生长影响的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(29): 10162-10164.
PAN W J. Research progress about effects of different food restriction methods on fish compensatory growth [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(29): 10162-10164.
- [9] MONTERRAT N, GÓMEZ-REQUENI P, BELLINI G, et al. Distinct role of insulin and *IGF-I* and its receptors in white skeletal muscle during the compensatory growth of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) [J]. Aquaculture, 2007, 267(1/4): 188-198.
- [10] BYAMUNGU N, DARRAS V M, KÜHN E R, et al. Growth of heat-shock induced triploids of blue tilapia, *Oreochromis aureus*, reared in tanks and in ponds in Eastern Congo: feeding regimes and compensatory growth response of triploid females [J]. Aquaculture, 2001, 198(1/2): 109-122.
- [11] 王腾飞, 郭晓鸽, 谷江稳, 等. 饥饿及过量投喂下银鲳幼鱼形态学指标及体成分变化[J]. 海洋学研究, 2015, 33(4): 83-89.
WANG T F, GUO X G, GU J W, et al. Research on morphological indexes and body composition change under starvation and excessive feeding situation for juvenile *Pampus argenteus* [J]. Journal of Marine Sciences, 2015, 33(4): 83-89.
- [12] 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]. 水生生物学报, 1998, 22(2): 181-188.
XIE X J, DENG L, ZHANG B. Advances and studies on ecophysiological effects of starvation on fish [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1998, 22(2): 181-188.
- [13] 李建, 王琨, 陈建春, 等. 不同循环饥饿投喂模式对尼罗罗非鱼补偿生长的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(6): 869-876.
LI J, WANG K, CHEN J C, et al. Effect of different cyclic starvation and refeeding regimes on the compensatory growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(6): 869-876.
- [14] BAVČEVIĆ L, KLANJŠČEK T, KARAMARKO V, et al. Compensatory growth in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) compensates weight, but not length [J]. Aquaculture, 2010, 301(1/4): 57-63.
- [15] WANG Y, CUI Y B, YANG Y X, et al. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*, reared in seawater [J]. Aquaculture, 2000, 189(1/2): 101-108.
- [16] BARRETO R E, MOREIRA P S A, CARVALHO R F. Sex-specific compensatory growth in food-deprived Nile tilapia [J]. Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 2003, 36(4): 477-483.
- [17] MONTERRAT N, GABILLARD J C, CAPILLA E, et al. Role of insulin, insulin-like growth factors, and muscle regulatory factors in the compensatory growth of the trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. General and Comparative Endocrinology, 2007, 150(3): 462-472.
- [18] PERES H, SANTOS S, OLIVA-TELES A. Lack of compensatory growth response in gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles following starvation and subsequent refeeding [J]. Aquaculture, 2011, 318(3/4): 384-388.
- [19] ZHU X M, XIE S Q, LEI W, et al. Compensatory growth in the Chinese longsnout catfish, *Leiostichus longirostris* following feed deprivation: Temporal patterns in growth, nutrient deposition, feed intake and body composition [J]. Aquaculture, 2005, 248(1/4): 307-314.
- [20] 孙平, 李亚珂. 补偿生长研究进展[J]. 科技创新导报, 2008(9): 48.
SUN P, LI Y K. Advances in compensatory growth research [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2008(9): 48.
- [21] MOHANTA K N, RATH S C, NAYAK K C, et al. Effect of restricted feeding and refeeding on compensatory growth, nutrient utilization and gain, production performance and whole body composition of carp cultured in earthen pond [J]. Aquaculture Nutrition, 2017, 23(3): 460-469.
- [22] NIKKI J, PIIRHONEN J, JOBLING M, et al. Compensatory growth in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*

- (Walbaum), held individually [J]. *Aquaculture*, 2004, 235(1/4): 285-296.
- [23] ZHU X M, XIE S Q, ZOU Z J, et al. Compensatory growth and food consumption in gibel carp, *Carassius auratus gibelio*, and Chinese longsnout catfish, *Leiocassis longirostris*, experiencing cycles of feed deprivation and re-feeding[J]. *Aquaculture*, 2004, 241(1/4): 235-247.
- [24] KIM M K, LOVELL R T. Effect of restricted feeding regimens on compensatory weight gain and body tissue changes in channel catfish *Ictalurus punctatus* in ponds [J]. *Aquaculture*, 1995, 135(4): 285-293.
- [25] HEIDE A, FOSS A, STEFANSSON S O, et al. Compensatory growth and fillet crude composition in juvenile Atlantic halibut: Effects of short term starvation periods and subsequent feeding[J]. *Aquaculture*, 2006, 261(1): 109-117.
- [26] GAYLORD I G, GATLIN D M III. Assessment of compensatory growth in channel catfish *Ictalurus punctatus* R. and associated changes in body condition indices[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2000, 31(3): 326-336.
- [27] 黄国强, 李洁, 唐夏, 等. 水生动物补偿生长现象及机制研究进展[J]. *广西科学院学报*, 2015, 31(1): 1-8.
- HUANG G Q, LI J, TANG X, et al. Research advance of compensatory growth in aquatic animals [J]. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 2015, 31(1): 1-8.

Effects of cycle of starvation-refeeding on the compensatory growth performance of *Cyprinus carpio haematopterus* new strain juveniles

SU Shengyan^{1,2}, PAN Wenjing¹, ZHANG Xizhao¹, HUANG Caiji¹, ZHANG Chengfeng², TANG Dan¹, XU Pao^{1,2}

(1. *Wuxi Fisheries College of Nanjing Agriculture University, Wuxi 214081, Jiangsu, China*; 2. *Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, Jiangsu, China*)

Abstract: In order to explore characteristics of compensatory growth of juvenile *Cyprinus carpio haematopterus* new strain in cycle of starvation-feeding, we chose 360 juveniles with the initial mean weight of (23.44 ± 3.21) g, and divided them into 4 groups randomly, each group was set to 3 repeats containing 30 individuals. Fish were fed in four feeding schedules as follows: Starvation A: 5 days starvation(S) – 20 days feeding(F) – 5 S-20 F-5 S-20 F; Starvation B: 7 S-28 F-7 S-33 F; Starvation C: 15 S-60 F; Control group Con: 75 F. The experiment lasted 75 days. The results show that: (1) In the recovery of satiation period after starvation, the specific growth rate (SGR) of the A group was 1.70%, significantly higher than that of the group B of 1.08%, group C of 0.87% and Con of 0.60%; (2) During the starvation period, the specific growth rate of body length (SGR_L) of three treatment groups was significantly lower than that of the Con, but significantly higher than Con after refeeding. (3) At the starvation period, the specific growth rate of condition factor K (SGR_K) of group A was significantly lower than those in the group B, C and Con, but significantly higher after the satiation period. (4) the feed rate of A in the treatment group was 8.7%, higher than the other two groups. Based on the SGR as the main evaluation index, the results indicated that the way 5 days starvation (S)-20 days feeding (F) can arouse juvenile *Cyprinus carpio* new strain to have partially compensatory growth effect and save 8.7% of the feed consumption.

Key words: specific growth rate; compensatory growth; starvation; juvenile *Cyprinus carpio haematopterus* new strain