

异育银鲫经过低温下停食后的补偿生长

李翠, 王岩

(上海水产大学 水域生态与鱼类营养实验室, 上海 200090)

摘要:在室内水槽中进行了10周实验,以检验异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)经过低温下停食后的补偿生长。实验鱼初始体质量为 $(5.1 \pm 0.1) \text{g}$,分为4组;2组鱼在第1~4周内被停食,在第5~10周分别恢复投喂蛋白能量比为 $23 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$ (SL组)和 $26 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$ (SH组)的等能饲料;另2组鱼(CL组和CH组)在1~4周内投喂蛋白能量比为 $23 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$ 的饲料,在第5~10周分别投喂蛋白能量比为 $23 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$ (CL组)和 $26 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$ (CH组)的饲料。第1~4周内水温控制在 $14.8 \sim 15.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,第5~10周内水温控制在 $24.8 \sim 25.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。结果表明,第4周结束时SL组和SH组体质量明显低于CL组和CH组;SL组和SH组全鱼水分、蛋白质和灰分百分含量明显高于CL组和CH组,但脂肪含量明显低于后者。恢复投喂期间,SL组在第7~10周内SGR高于CL组,SH组第5~8周内SGR高于CH组,但SL组与SH组,CL组与CH组之间SGR无显著差异($P > 0.05$)。实验结束时,SL组和SH组的体质量分别低于CL组和CH组,SL组与SH组间及CL组与CH组间体质量无显著差异($P > 0.05$);SL组和SH组全鱼、躯干和内脏团内蛋白质和灰分含量分别高于CL组和CH组,脂肪含量分别低于CL组和CH组。本实验结果显示,经过低温下停食后,异育银鲫仅表现出部分补偿生长能力,恢复投喂期间增加饲料蛋白质含量未明显增强异育银鲫的补偿生长。[中国水产科学,2007,14(1):113—119]

关键词:异育银鲫;补偿生长;水温;蛋白能量比

中图分类号:Q959.46

文献标识码:A

文章编号:1005-8737-(2007)01-0113-07

目前已有近30种鱼的补偿生长(Compensatory growth)现象被验证,但有关鱼类补偿生长的生理学机制尚不清楚^[1]。多种因素如早期营养状况^[2-3]、恢复投喂期间的水质状况^[4]、鱼群内社会行为^[5]和恢复投喂期间食物质量^[6]都可影响鱼类的补偿生长。利用补偿生长原理提高鱼类养殖产量或降低养殖成本的研究尚未见报道。

研究表明,鱼类经过低温后可表现出补偿生长^[7-8];改变饲料蛋白质含量会影响鱼类补偿生长强度^[6],而涉及异育银鲫的相关研究尚未见报道。异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)是中国重要的淡水鱼类养殖品种,经过饥饿后可表现出完全^[9-10]或部分补偿生长能力^[11]。由于人工养殖的异育银鲫往往在漫长酷冬季里被停食或限量投喂,而在春季水温回升后恢复正常投喂,因此,查明异育银鲫经过低温下停食后再在高温下恢复投喂时的补偿生长能力,对于确定补偿生长原理是否可应用于异育银鲫人工养殖具有现实意义。饥饿后的异育银鲫鱼体蛋白质与能量比(P/E)明显升高^[12],有必

要探讨改变饲料P/E是否会影响异育银鲫饥饿后的摄食、生长和食物利用效率。本文报道了异育银鲫经过在低温下停食后在高温下被恢复投喂不同P/E饲料的补偿生长,旨在确定异育银鲫经过在低温下停食后再在高温下投喂时的补偿生长强度,同时阐明恢复投喂阶段饲料P/E对异育银鲫补偿生长的影响。

1 材料与方法

1.1 饲料配方及配制

实验中使用2种不同蛋白质含量的等能饲料,其中低蛋白饲料(LP)含40%粗蛋白,P/E为 $23 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$;高蛋白饲料(HP)含45%粗蛋白,P/E为 $26 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$ 。所用的饲料原料分别从美国动物蛋白及油脂提炼协会(NRA)香港办事处和上海市新扬饲料公司获得。饲料原料经粉碎后根据配方混合均匀,用小型实验室制粒机制成直径为2 mm的颗粒。饲料在室温下风干后密封保存-20℃冰箱内。实验饲料配方及营养组成见表1。

收稿日期:2006-03-29;修订日期:2006-05-02。

基金项目:上海市科技启明星计划项目(01QC14038);中国科学院水生生物研究所淡水生态和生物技术国家重点实验室开放基金项目。

作者简介:李翠(1981-),女,硕士研究生,研究方向为动物营养与饲料科学。Tel:021-65710764;E-mail:licuiwan@163.com

通讯作者:王岩。Tel/Fax:021-65711600;E-mail:wangyan@shfu.edu.cn

表1 实验饲料配方和营养组成

Tab. 1 Formulation and proximate composition of the test diets

组成 Composition	高蛋白饲料(HP) High-protein feed	低蛋白饲料(LP) Low-protein feed
原料组成/% Ingredients		
进口鲱鱼粉 Herring meal	10.0	10.0
喷雾干燥血粉 Blood meal, spray-dried	9.0	4.5
豆粕 Soybean meal	29.2	25.0
菜籽粕 Rapeseed meal	10.0	10.0
次粉 Wheat middling	19.8	27.0
肉骨粉 Meat and bone meal	6.0	6.0
鸡肉粉 Poultry by-product meal	12.0	12.0
豆油 Soybean oil	0.0	1.5
CaHPO ₄	1.5	1.5
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.5	0.5
维生素预混物 ¹ Vitamin premix	1.0	1.0
矿物质预混物 ² Mineral premix	1.0	1.0
营养组成和能量含量 Proximate composition and energy content		
干物质/% Dry matter	88.7	88.6
粗蛋白/% Crude protein	45.0	40.3
粗脂肪/% Crude lipid	5.1	6.8
灰分/% Ash	9.7	9.8
总能 ³ /(kJ·g ⁻¹) Gross energy	17.61	17.65
蛋白能量比/(g·MJ ⁻¹) Ratio of protein to ener-	26	23

注:1. 维生素预混物(/kg 饲料):维生素 A,2 500 IU;维生素 D₃,2 000 IU;维生素 E,50 IU;维生素 K,1 mg;维生素 B₁,1 mg;维生素 B₂,6 mg;维生素 B₆(吡哆醇),5 mg;维生素 B₁₂,0.02 mg;D-泛酸钙,20 mg;胆碱,1 000 mg;烟碱酸,10 mg;生物素 0.14 mg;叶酸,1 mg;维生素 C,50 mg。

2. 矿物质预混物(/kg 饲料):氯化钠,1 200 mg;硫酸亚铁,13 mg;硫酸锌,60 mg;硫酸锰,32 mg;硫酸铜,7 mg;碘化钾,8 mg。

3. 总能根据饲料中蛋白质(23.640 kJ·g⁻¹)、脂肪(39.539 kJ·g⁻¹)和碳水化合物(17.154 kJ·g⁻¹)含量计算。

Note:1. Vitamin mixture contained the following vitamins per kg of feed: vitamin A, 2 500 IU; vitamin D₃, 2 000 IU; vitamin E, 50 IU; vitamin K, 1 mg; thiamin, 1 mg; riboflavin, 6 mg; pyridoxine, 5 mg; vitamin B₁₂, 0.02 mg; D-calacium pantothenate, 20 mg; choline, 1 000 mg; niacin, 10 mg; biotin, 0.14 mg; folacin, 1 mg; ascorbic acid, 50 mg.

2. Mineral mixture contained the following minerals per kg of feed: NaCl, 1 200 mg; FeSO₄, 13 mg; ZnSO₄, 60 mg; MnSO₄, 32 mg; CuSO₄, 7 mg; KI, 8 mg.

3. Gross energy is calculated from contents of crude protein(23.640 kJ·g⁻¹), crude lipid(39.539 kJ·g⁻¹) and carbohydrate(17.154 kJ·g⁻¹).

1.2 实验鱼来源与驯养

实验在上海水产大学水域生态和鱼类营养实验室内进行。异育银鲫购自上海市浦东孙桥淡水鱼良种场,运回实验室后先在室内水泥池内暂养,暂养期间投喂 LP 饲料。实验前 2 周挑选个体大小相近的 264 尾鱼,转入 12 个直径 70 cm,高 60 cm,容积为 200 L 的循环水水槽内驯养。水槽内的水连续充气并按 12 L/min 的流速循环(循环水经生物滤器和活性炭处理并用紫外线消毒)。驯养期间每天 2 次投喂实验鱼 LP 饲料。

1.3 实验设计和饲养实验

按两因素实验设计方案设 4 个投喂处理:2 组

鱼在实验的前 4 周被停食,在第 5~10 周分别投喂 LP 饲料(简称 SL 组)或 HP 饲料(简称 SH 组);另 2 组鱼在前 4 周投喂 LP 饲料,在第 5~10 周分别投喂 LP 饲料(简称 CL 组)或 HP 饲料(简称 CH 组)。

实验开始前将驯养的鱼停喂 24 h,集中到 1 个水槽中。每次随机取体质量为(5.1±0.1)g 的 15 尾鱼,用湿纱布吸干鱼体表水后称重,放到容积为 200 L 的实验水槽中。每个处理设 3 个重复,共用 12 个水槽。从剩余鱼中随机取 3 组鱼(5 尾/组)分析全鱼的蛋白质、脂肪、水分和灰分含量,取 3 组鱼(8 尾/组)解剖,分析其内脏(包括消化道、心脏、肝脏、脾脏、肾和腹腔脂肪)和躯干蛋白质、脂肪、水

分和灰分含量。样品分析前保存在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱内。

实验期间每天 8:00 和 16:00 投喂,投喂 2 h 后收集残饵。将残饵在 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘干、称重,根据投喂量、残饵量和饲料溶失率计算鱼摄食量。每 2 周测 1 次体质量。实验水槽内的水除正常循环外,每天用经过充分曝气的自来水更换水槽内 25% 的水量,水槽内溶氧高于 5 mg/L 。室内光周期控制为 12 h:12 h。第 1~4 周水温被控制在 $14.8\sim 15.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,第 5 周起每天将水温升高 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$,至 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后控制在 $24.8\sim 25.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

第 4 周结束时从每个水槽中随机取 5 尾鱼分析全鱼组成;第 10 周结束时从每个水槽中随机取 4 尾鱼分析全鱼组成,取 6 尾鱼分析内脏团和躯干组成。

1.4 实验饲料和实验鱼组成分析

实验饲料和实验鱼粗蛋白含量用凯氏定氮法测定;粗脂肪用 Soxhlet 抽提(以乙醚为溶剂)法测定;在 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘样品至恒重,根据干燥前后失重计算干物质含量;在马福炉中 $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下灼烧样品至恒重,根据灼烧前后失重计算灰分含量。

1.5 数据计算与统计分析

摄食率(FI)、特定生长率(SGR)和饲料系数(FCR)按下列公式计算。

$$\text{FI}(\%/d)=100\times C/[t\times(W_t+W_0)/2]$$

$$\text{SGR}(\%/d)=100\times(\ln W_t-\ln W_0)/t$$

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

其中, C 表示 t 时间内鱼的摄食量,g; W_0 和 W_t 分别为鱼初始和终体质量,g; t 表示称鱼间隔时间,d。

第 4 周结束时停食鱼(包括 SL 组和 SH 组)与投喂的鱼(包括 CL 组和 CH 组)体质量和全鱼组成

之间的差异用 t 检验分析;第 5~10 周期间不同处理组鱼体质量和全鱼、内脏与躯干组成(干物质、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量)之间的差异用针对两因素实验设计的方差分析检验,用 Duncan 方法比较处理之间的差异。第 5~10 周内不同处理组 FI、FCR 和 SGR 的差异用协方差分析检验,以相应鱼体质量作协变量。FI、FCR、SGR、干物质、粗蛋白、粗脂肪和灰分数据在方差分析前先经过对数转换。取 $P<0.05$ 为差异显著性水平。

2 结果与分析

实验中鱼成活率为 100%。从表 2 可见,第 1~4 周内停食的 SL 组鱼和 SH 组鱼的 SGR 显著低于投喂的 CL 组鱼和 CH 组鱼($P<0.05$)。升温后无论停食的 SL 组鱼和 SH 组鱼还是投喂的 CL 组鱼和 CH 组鱼的 SGR 均显著增加($P<0.05$)。恢复投喂前 2 周(第 5~6 周)内 SL 组与 CL 组的 SGR 无显著差异($P>0.05$),但第 7~10 周内 SL 组的 SGR 显著高于 CL 组($P<0.05$);恢复投喂前 4 周(第 5~8 周)内 SH 组 SGR 显著高于 CH 组($P<0.05$),但在第 9~10 周内二者之间无显著差异($P>0.05$)。实验期间,CL 组与 CH 组之间 SGR 无显著差异($P>0.05$),SL 组与 SH 组之间 SGR 无显著差异($P>0.05$)。从表 3 可见,第 4 周结束时,停食的 SL 和 SH 组体质量显著低于投喂的 CL 和 CH 组($P<0.05$);实验结束时,SL 组体质量仍明显低于 CL 组($P<0.05$),SH 组体质量低于 CH 组($P<0.05$)。

表 2 实验期间异育银鲫的特定生长率

Tab. 2 Specific growth rate of gibel carp during the experiment

$n=3; \bar{X}\pm\text{SE}; \%/d^{-1}$

处理组 Treatment	阶段 Period				
	1—2 周	3—4 周	5—6 周	7—8 周	9—10 周
CL	1.0 ± 0.0^a	0.8 ± 0.1^a	2.1 ± 0.1^a	1.6 ± 0.1^a	1.3 ± 0.0^a
CH	1.1 ± 0.1^a	0.9 ± 0.0^a	2.0 ± 0.1^a	1.5 ± 0.1^a	1.4 ± 0.0^a
SL	-0.6 ± 0.1^b	-0.4 ± 0.0^b	2.5 ± 0.2^{ab}	2.2 ± 0.0^b	1.6 ± 0.1^b
SH	-0.7 ± 0.1^b	-0.3 ± 0.0^b	2.6 ± 0.1^b	1.9 ± 0.1^b	1.5 ± 0.1^{ab}

注:1)表中上标字母表示方差分析结果,同列中上标字母不同者表示存在显著差异($P<0.05$)。

2)CL:实验期间投喂 LP 饲料;SL:前 4 周停食,第 5~10 周投喂 LP 饲料;CH:前 4 周投喂 LP 饲料,第 5~10 周投喂 HP 饲料;SH:前 4 周停食,第 5~10 周投喂 HP 饲料。

Note:1) Mean values within the same column with different superscript are significantly different($P<0.05$).

2)CL: Low-protein(LP) treatment. SL: Fish deprived of diet in weeks 1 to 4, and re-fed with LP diet in weeks 5 to 10. CH: the fish fed LP diet in weeks 1 to 4, and fed with HP diet in weeks 5 to 10. SH: Fish deprived of diet in weeks 1 to 4, and re-fed with HP diet in weeks 5 to 10.

表3 实验期间异育银鲫的体质量

Tab. 3 Body weight of gibel carp during the experiment

 $n=3; \bar{X} \pm SE; g$

处理组 Treatment	时间 Time					
	开始 Initial	2周末 2nd week	4周末 4th week	6周末 6th week	8周末 8th week	10周末 10th week
CL	5.1±0.0	5.9±0.0 ^b	6.5±0.1 ^b	8.8±0.2 ^b	11.0±0.4 ^b	13.1±0.5 ^b
CH	5.1±0.1	6.0±0.0 ^b	6.7±0.1 ^b	8.9±0.2 ^b	11.1±0.2 ^b	13.5±0.3 ^b
SL	5.1±0.0	4.7±0.0 ^a	4.5±0.0 ^a	6.3±0.1 ^a	8.5±0.2 ^a	10.6±0.3 ^a
SH	5.1±0.0	4.7±0.1 ^a	4.5±0.1 ^a	6.4±0.2 ^a	8.5±0.2 ^a	10.4±0.4 ^a

注:表中上标字母表示方差分析结果,同列中上标字母不同者表示存在显著差异($P<0.05$).Note: Mean values within the same column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

从表4可见,第5~10周内各处理组之间摄食率(FI)无显著差异($P>0.05$)。恢复投喂前2周(第5~6周)内SL组鱼的饲料系数(FCR)低于CL组鱼($P<0.05$),SH组鱼的FCR低于CH组鱼(P

<0.05),但第7~10周内SL组与CL组之间,SH组与CH组之间的FCR无显著差异($P>0.05$)。第5~10周内CL与CH组,SL与SH组之间的FCR无显著差异($P>0.05$)。

表4 恢复投喂期间异育银鲫的摄食率和饲料系数

Tab. 4 Feed intake and feed conversion ratio of gibel carp during the re-feeding period

 $n=3; \bar{X} \pm SE$

处理组 Treatment	摄食率/(%·d ⁻¹) Feed intake			饲料系数 Feed conversion ratio		
	5-6周	7-8周	9-10周	5-6周	7-8周	9-10周
CL	4.7±0.1	5.2±0.2	4.6±0.4	3.1±0.1 ^a	3.6±0.2	3.6±0.4
CH	4.6±0.1	5.2±0.4	5.1±0.1	2.9±0.2 ^{ab}	3.8±0.4	3.7±0.0
SL	5.2±0.0	6.5±0.0	5.5±0.1	2.5±0.1 ^{bc}	3.2±0.0	3.5±0.1
SH	4.9±0.3	5.6±0.4	5.3±0.3	2.5±0.0 ^c	3.5±0.2	3.6±0.2

注:表中上标字母表示方差分析结果,同列中上标字母不同者表示存在显著差异($P<0.05$).Note: Mean values within the same column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

从表5可见,第4周结束时停食的SL和SH组全鱼水分、蛋白质和灰分含量显著高于投喂的CL和CH组,脂肪含量显著低于投喂组鱼($P<0.05$)。实验结束时,SL组全鱼蛋白质含量显著高于CL组($P<0.05$),脂肪含量显著低于CL组($P<0.05$),但全鱼水分和灰分的含量与CL组无显著差异($P>0.05$);SH组全鱼蛋白质和灰分含量显著高于CH

组($P<0.05$),脂肪含量显著低于CH组($P<0.05$),水分含量与CH组无显著差异($P>0.05$)。实验结束时,除SL组的全鱼脂肪含量显著高于SH组($P<0.05$),灰分含量显著低于后者($P<0.05$)外,CL组与CH组之间全鱼水分、蛋白质、脂肪和灰分含量无显著差异($P>0.05$),SL和SH组之间全鱼水分和蛋白质含量无显著差异($P>0.05$)。

表5 实验期间异育银鲫全鱼组成

Tab. 5 Proximate composition in whole body of gibel carp during the experiment

 $n=3; \bar{X} \pm SE; \%$

时间 Time	处理组 Treatment	水分 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	灰分 Ash
实验开始 Initial		76.8±0.5	57.8±0.6	27.2±0.9	11.4±0.3
停食结束 End of feed deprivation	CL	75.1±0.4 ^a	56.7±1.3 ^a	27.4±1.2 ^a	10.6±0.2 ^a
	CH	75.1±0.4 ^a	56.7±1.3 ^a	27.4±1.2 ^a	10.6±0.2 ^a
	SL	77.3±0.4 ^b	60.6±0.5 ^b	21.8±0.7 ^b	14.4±0.4 ^b
	SH	77.3±0.4 ^b	60.6±0.5 ^b	21.8±0.7 ^b	14.4±0.4 ^b
实验结束 End of experiment	CL	72.6±0.6	54.4±1.1 ^a	32.5±0.6 ^a	9.7±0.3 ^a
	CH	73.0±0.4	56.9±0.9 ^{ab}	31.3±0.3 ^{ab}	10.0±0.0 ^a
	SL	73.5±0.5	59.2±0.2 ^{bc}	29.3±0.6 ^b	10.1±0.2 ^a
	SH	74.0±0.7	60.9±1.3 ^c	26.9±1.1 ^c	10.8±0.1 ^b

注:表中同列上标字母不同者表示存在显著差异($P<0.05$).Note: Mean values within the same column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

从表 6 可见,实验结束时,SL 组鱼躯体蛋白质和灰分含量显著高于 CL 组($P<0.05$),脂肪含量显著低于 CL 组($P<0.05$);SH 组鱼躯体的蛋白质和灰分含量显著高于 CH 组($P<0.05$),脂肪含量显著低于 CH 组($P<0.05$)。SL 组与 CL 组之间,SH 组与 CH 组之间躯体水分含量无显著差异($P>0.05$)。CL 组与 CH 组之间,SL 组与 SH 组之间躯体蛋白质、脂肪、水分和灰分含量无显著差异($P>$

0.05)。SL 组内脏团蛋白质和灰分含量显著高于 CL 组($P<0.05$),脂肪含量显著低于后者($P<0.05$);SH 组内脏团脂肪含量显著低于 CH 组($P<0.05$),但水分、蛋白质和灰分含量与后者无显著差异($P>0.05$)。CL 组与 CH 组之间,SL 组与 SH 组之间内脏团水分、蛋白质、脂肪和灰分含量无显著差异($P>0.05$)。

表 6 实验结束时异育银鲫躯体和内脏团组成

Tab. 6 Proximate composition in carcass and viscera of gibel carp at the end of the experiment

 $n=3; \bar{X} \pm SE; \%$

取样部位 Position	处理组 Treatment	水分 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	灰分 Ash
躯体 Carcass	CL	73.1±1.7	57.4±0.8 ^a	31.0±0.8 ^b	10.4±0.2 ^a
	CH	72.3±0.6	58.5±0.5 ^a	30.1±0.2 ^b	10.6±0.1 ^a
	SL	73.3±0.2	61.4±0.2 ^b	27.4±0.3 ^a	11.1±0.2 ^b
	SH	73.8±0.5	61.3±1.1 ^b	26.4±1.0 ^a	11.5±0.2 ^b
内脏团 Viscera	CL	65.9±1.7	35.4±1.4 ^a	38.5±2.4 ^b	2.6±0.1 ^a
	CH	66.8±0.9	38.9±0.8 ^a	36.2±1.3 ^b	2.8±0.1 ^a
	SL	67.8±0.1	47.0±1.5 ^b	29.9±0.7 ^a	3.0±0.1 ^b
	SH	68.3±0.4	44.7±2.8 ^{ab}	30.7±1.0 ^a	3.0±0.1 ^{ab}

注:表中上标字母表示方差分析结果,同列中上标字母不同者表示存在显著差异($P<0.05$)。

Note: Mean values within the same column at the same time having different superscript are significantly different($P<0.05$).

3 讨论

本实验中,异育银鲫在 14.8~15.2 °C 被停食 4 周后,在 24.8~25.2 °C 下用不同蛋白质含量的等能饲料恢复投喂 6 周,恢复投喂期间停食鱼 SGR 高于用同样饲料正常投喂的鱼,实验结束时停食鱼体质量仍明显低于正常投喂的鱼,表明异育银鲫表现出部分补偿生长。Qian 等^[7]和 Xie 等^[8]发现单尾饲养的异育银鲫经过 1~2 周停食后再恢复投喂可表现出完全补偿,但随后研究发现,成群饲养的异育银鲫停食 3~4 周后恢复投喂仅表现出部分补偿^[9]。本实验结果进一步证实,成群饲养的异育银鲫经过低温停食后仅表现出部分补偿生长。研究表明,经过低温限制后的大西洋鲑(*Salmo salar*)转到高温下能够表现出补偿生长^[10-11]。由此推测,在低温下停食、高温下恢复投喂的异育银鲫应表现出比在恒温下停食后更强的补偿生长,本实验中,正常投喂的鱼在升温后 SGR 比升温前明显增加,停食鱼在升温并恢复投喂后 SGR 比升温前停食时大幅度增加,但最终却仅表现出部分补偿,这从一定程度上反映出

异育银鲫的补偿生长能力有限。

用蛋白质和能量含量不同的饲料投喂经过停食的斑点叉尾鮰 (*Ictalurus punctatus*),摄食高蛋白饲料的停食鱼比摄食低蛋白饲料的停食鱼补偿生长能力更强^[6]。本实验中,异育银鲫经过停食后摄食两种蛋白质含量不同的等能饲料表现出相似的补偿生长,表明在饲料能量含量相同的前提下,饲料蛋白质含量对异育银鲫的补偿生长强度无显著影响,这与对斑点叉尾鮰的研究结果^[6]不一致。本实验中所用饲料蛋白质含量分别为 40%和 45%,均高于异育银鲫正常生长所需的饲料蛋白质含量^[13],可见当饲料蛋白质和能量水平能满足异育银鲫的正常营养需求后,额外增加饲料蛋白质含量不会进一步增强该鱼的补偿生长。

恢复投喂的前 2 周内用 LP 饲料投喂的停食鱼 SGR 与相应的正常投喂的鱼无显著差异,而用 HP 饲料投喂的停喂鱼 SGR 明显高于相应的正常投喂的鱼,表明用 LP 饲料投喂的停食鱼在出现补偿生长前存在 2 周时滞,而用 HP 饲料投喂的停食鱼补偿生长前无时滞。经过低温限制的大西洋鲑出现补偿生长

前存在生长时滞^[10-11]。饥饿的三刺鱼(*Gasterosteus aculeatus*)和真鳉(*Phoxinus phoxinus*)表现出补偿生长前也存在一段时滞^[16]。饥饿的尖吻鲈(*Lates calcarifer*)恢复摄食后表现出间歇性的生长补偿^[17]。经过停食的杂交罗非鱼^[12,14-15]和异育银鲫^[9]出现补偿生长前无明显的生长时滞。本实验中,恢复投喂期间投喂不同蛋白含量饲料的鱼摄食无明显差异,可以初步认为异育银鲫补偿生长前是否出现时滞与食物蛋白质含量有关,而与水温变化关系不大。另外,尽管用 LP 饲料投喂的停食鱼在出现补偿生长前存在时滞,但其在整个恢复投喂期间的特定生长率(SGR)与用 HP 饲料投喂的停食鱼无显著差异,表明补偿生长前是否存在时滞不会影响补偿生长的强度。

关于鱼类补偿生长的生理学机制至今仍不清楚。已经证明增加摄食是停食鱼实现补偿生长的重要途径^[1]。部分研究表明,鱼类补偿生长期间可提高对食物的利用效率^[3,19],而另有研究则认为鱼在补偿生长期间对食物的利用效率无明显改善^[2,12,14-18]。有关异育银鲫补偿生长对其食物利用效率的影响认识尚未统一:有人认为异育银鲫补偿生长期间提高了对食物的利用效率^[7];也有研究者发现补偿生长没有改变异育银鲫对食物的利用效率^[8-9]。本实验中恢复投喂期间停食鱼与正常投喂鱼的摄食率(FI)无显著差异,恢复投喂的前2周内停食鱼的饲料系数(FCR)明显低于正常投喂的鱼,这是由于本实验中采用一次性过量投喂的方法,每次投喂鱼的摄食时间长达2 h。采用这样的投喂方法可以使实验鱼有充分的机会摄食,更充分地实现其补偿生长,但同时由于饲料在水中长时间浸泡,溶失较严重。本实验中异育银鲫 FI 明显高于早期研究结果^[9],表明,FI 过高估计了实验鱼的摄食量。由于鱼经过停食后摄食量和摄食速度均高于正常投喂的鱼,在过量投喂条件下,停食鱼实测摄食量与计算出的 FI 的偏差与正常投喂的鱼相比较低,结果造成其 FCR 低于正常投喂的鱼的假象。因此,在鱼类补偿生长研究中,当对鱼的摄食量定量不准确时,会进一步影响对食物利用效率的评价。

经过停食的鱼体内脂肪和能量含量明显下降,恢复摄食后停食鱼鱼体组成将逐渐恢复到与正常摄食的鱼相同的水平^[1]。本实验中,异育银鲫停食后全鱼水分、蛋白质和灰分含量升高,脂肪含量下降,这符合对鱼类补偿生长研究的结果,表明异育银鲫

停食期间主要利用体内脂肪作为代谢能源。经过6周恢复投喂后停食鱼全鱼、躯体和内脏中蛋白质和灰分含量高于相应的投喂鱼,全鱼、躯体和内脏脂肪含量低于后者,这与早期研究结果^[9]不同,有关原因尚待进一步研究。

从整个实验而言,异育银鲫在14.8~15.2℃下停食4周后在24.8~25.2℃下用两种蛋白质含量不同的等能饲料恢复投喂6周仅表现出部分补偿生长,表明在低温下停食后再在高温下恢复投喂不会增强异育银鲫的补偿生长,这意味着目前在养殖生产中尚难利用补偿生长原理来实现加快异育银鲫生长的目的。

参考文献:

- [1] 王岩,崔正贺. 鱼类补偿生长研究中应注意的几个问题[J]. 上海水产大学学报,2002,12(3):260-264.
- [2] Jobling M, Melby O H, Dos Santos J, et al. The compensatory growth response of the Atlantic cod; effects of nutritional history[J]. Aquaculture Intern, 1994, 2: 75-90.
- [3] Russell N R, Wootton R J. Appetite and growth compensation in the European minnow, *Phoxinus phoxinus* (Cyprinidae) following short periods of food restriction[J]. Environ Biol Fish, 1992, 34: 277-285.
- [4] Quinton J C, Blake R W. The effect of feed cycling and ration level on the compensatory growth response in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*[J]. J Fish Biol, 1990, 37: 33-41.
- [5] Hayward R S, Wang N, Noltie D B. Group holding impedes compensatory growth of hybrid sunfish [J]. Aquaculture, 2000, 183: 299-305.
- [6] Gaylord T G, Gatlin III D M. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J]. Aquaculture, 2001, 194(3): 337-348.
- [7] Maclean A, Metcalfe N B. Social status, access to food, and compensatory growth in juvenile Atlantic salmon[J]. J Fish Biol, 2001, 58: 1 331-1 346.
- [8] Nicieza A G, Metcalfe N B. Growth compensation in juvenile Atlantic salmon; responses to depressed temperature and food availability[J]. Ecology, 1997, 78(8): 2 385-2 400.
- [9] Qian X, Cui Y, Xiong B, et al. Compensatory growth, feed utilization and activity in gibel carp, following feed deprivation [J]. J Fish Biol, 2000, 56: 228-232.
- [10] Xie S, Zhu X, Cui, et al. Compensatory growth in the gibel carp following feed deprivation; temporal patterns in growth, nutrient deposition, feed intake and body composition[J]. J Fish Biol, 2001, 58: 999-1 009.
- [11] Cui Z, Wang Y. Compensatory growth of group-held gibel carp, following food deprivation[J]. Aquacult Res, 2006, 37: 313-318.

- [12] Wang Y, Cui Y, Yang Y. Partial compensatory growth in hybrid tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*) following food deprivation[J]. J Appl Ichthyol, 2005, 21(5): 389–393.
- [13] 李爱杰, 王道尊, 麦康森, 等. 水产动物营养与饲料科学[M]. 北京: 中国农业出版社. 1998, 21: 170.
- [14] Wang Y, Cui Y, Yang Y. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*, reared in sea-water, following restricted feeding[J]. Chin J Oceanol Limnol, 2004, 22(4): 412–420.
- [15] Wang Y, Cui Y, Yang Y. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*, reared in sea-water[J]. Aquaculture, 2000, 189: 101–108.
- [16] Zhu X, Cui Y, Ali M, et al. Comparison of compensatory growth responses of juvenile three-spined stickleback and minnow following similar food deprivation protocols[J]. J Fish Biol, 2001, 58: 149–165.
- [17] Tian X L, Qin J G. A single phase of food deprivation provoked compensatory growth in barramundi *Lates calcarifer* [J]. Aquaculture, 2003, 224: 169–179.
- [18] Hayward R S, Noltie D B, Wang N. Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates[J]. Trans Am Fish Soc, 1997, 126: 316–322.
- [19] Dobson S H, Holmes R M. Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson [J]. J Fish Biol, 1984, 25: 649–656.

Compensatory growth of gibel carp, *Carassius auratus gibelio*, following food deprivation under low temperature

LI Cui, WANG Yan

(Laboratory of Aquatic Ecology and Fish Nutrition, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: A 10-week experiment was carried out to evaluate the compensatory growth of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) following feed deprivation under low temperature. The initial body weight of the fish were (5.1 ± 0.1) g. Four feeding treatments were established. Two groups of fish were deprived of diets during weeks 1 to 4, and re-fed with two isocaloric diets, either a low-protein diet (LP diet) with ratio of protein to energy (P/E) of $23 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$ (SL group) or a high-protein diet (HP diet) with P/E of $26 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$ (SH group), in excess during weeks 5 to 10, while two other groups were fed LP diet during weeks 1 to 4, and fed LP diet (CL group) or HP diet (CH group) during weeks 5 to 10. In the experiment, water temperature was controlled at $14.8\text{--}15.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ during weeks 1 to 4, and at $24.8\text{--}25.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ during weeks 5 to 10. At the end of week 4, the body weight was lower in SL and SH treatments than in CL and CH treatments. Moisture, protein and ash contents in whole body were higher, while whole body lipid content was lower in SL and SH treatments than those in CL and CH treatments. Specific growth rate (SGR) was higher in SL than that in CL during weeks 7 to 10, and SGR was higher in SH than that in CH during weeks 5 to 8. At the end of the experiment, the fish in SL and SH treatments had lower body weight than that normally fed fish (SL versus CL, SH versus CH). Protein and ash contents in whole body, carcass and viscera were higher in SL and SH treatments than those in normally fed treatments. During weeks 5 to 10, there were no significant differences ($P > 0.05$) in SGR, body weight and proximate composition in whole body, carcass and viscera between the treatments of SL and SH, and between the treatments of CL and CH. The results of the present study suggest gibel carp deprived of food under $14.8\text{--}15.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and re-fed under $24.8\text{--}25.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ show partial growth compensation, and increasing dietary protein level has no significantly positive effect on enhancing intensity of compensatory growth. [Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(1): 113–119]

Key words: gibel carp; compensatory growth; water temperature; ratio of protein to energy

Corresponding author: WANG Yan. E-mail: wangyan@shfu.edu.cn