

不同体重异育银鲫 (*Carassius auratus gibelio*) 的 补偿生长*

崔正贺 王岩^①

(上海水产大学水域生态与鱼类营养实验室 上海 200090)

摘要 在实验室内进行了8周实验以确定不同体重的异育银鲫的补偿生长。按初始体重将实验鱼分为L[(8.7±0.0)g]、M[(5.3±0.1)g]和S[(3.2±0.0)g]三个规格,每个规格的鱼或在第1—2周停食,在第3—8周按饱食投喂(停食鱼)或始终按饱食投喂(对照鱼)。结果表明,第2周结束时,停食鱼体重、全鱼脂肪与蛋白质含量明显低于同规格的对照鱼,而全鱼灰分和水分含量高于后者。第3—8周内停食鱼摄食率和特定生长率(SGR)明显高于同规格对照鱼,但饲料效率与后者无明显差异。第8周结束时,停食的M鱼体重与同规格对照鱼无显著差异,停食的L和S鱼体重仍明显小于同规格对照鱼,表明恢复投喂后停食的M鱼实现完全补偿,而L和S鱼为部分补偿。实验结束时停食的M鱼全鱼组成与同规格对照鱼无明显差异,但鱼躯干蛋白质含量和内脏团脂肪含量仍明显低于后者,内脏团蛋白质和灰分含量高于后者;停食的L鱼躯干鱼体组成与同规格的对照鱼无显著差异,但全鱼脂肪和蛋白质含量、内脏团脂肪含量仍明显低于后者;绝食的S鱼内脏团组成与同规格的对照鱼无显著差异,但全鱼脂肪含量以及鱼躯干脂肪和蛋白质含量明显低于后者。

关键词 异育银鲫,补偿生长,停食,体重

中图分类号 S965.117

补偿生长(Compensatory growth)指由于受恶劣环境条件限制而经过一段时期生长停滞或负生长的动物当环境条件重新恢复正常后所表现出的超常生长。对30余种鱼类的补偿生长研究表明,经过食物限制后的鱼可表现出不同程度的补偿生长(王岩等,2003)。已证实早期营养状况(Russell *et al.*, 1992; Jobling *et al.*, 1994)、鱼群内社会行为(Hayward *et al.*, 2000)以及恢复投喂期间的水质(Quinton *et al.*, 1990)和食物质量(Gaylord *et al.*, 2001)等可影响鱼类的补偿生长。

异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)是我国重要的淡水鱼类养殖品种。研究表明单尾饲养体重为3.7—6.7g的异育银鲫经过1—2周停食后表现出完全补偿(Qian *et al.*, 2000; Xie *et al.*, 2001),但群体饲养体重为2.2g的异育银鲫经过

3—4周停食后仅表现出部分补偿(Cui *et al.*, 2006)。不同实验中异育银鲫补偿生长的差异是否与实验鱼初始体重有关尚不清楚。本文中报道了不同体重的异育银鲫停食2周后的补偿生长,并初步探讨了其补偿生长机制。

1 材料与方法

1.1 实验鱼与饲料

实验所用的异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)购自上海孙桥淡水鱼良种场,运输后在上海水产大学水域生态与鱼类营养实验室室内水泥池中暂养5周。根据体重将鱼分为大鱼(L)、中鱼(M)和小鱼(S),各挑选400尾,在24个玻璃钢循环水槽(长80cm,宽50cm,水深40cm,容积200L)内驯养2周。每种规格的鱼养在8个水槽中,饲养密度为50尾鱼/水槽。驯养期间每天8:00

* 上海市科技启明星计划资助项目,01QC14038号;淡水生物技术与生态学国家重点实验室开放基金资助项目,2002—2004。崔正贺,硕士,E-mail:zhcui@stmail.shfu.edu.cn

① 通讯作者:王岩,教授,E-mail:wangyan@shfu.edu.cn

收稿日期:2005-10-18,收修改稿日期:2006-07-08

和 16:00 投喂实验鱼配合饲料(饲料配方:鱼粉 35%;豆粕 26.6%;喷雾干燥血粉 2%;菜籽粕 10%;面粉 18%;鱼油 4.4%;CaHPO₄ 1.5%;蛋氨酸 0.5%;维生素预混物 1%;矿物盐预混物 1%)。饲料营养组成:干物质 90.1%;粗蛋白 41.2%;粗脂肪 5.0%;灰分 12.3%)。

1.2 实验设计与实验过程

采用 2×3 实验设计:实验鱼初始体重设 L、M 和 S 三个规格;每个规格的鱼按 2 种方式投喂:在第 1—2 周停食,在第 3—8 周按饱食投喂(停食鱼)或始终按饱食投喂(对照鱼)。

实验开始前 24h 将驯养鱼停食,然后将 L、M 和 S 鱼分别集中到 3 个水槽。每次从其中 1 个水槽中随机取 30 尾鱼,吸干鱼体表水后称重,放到 1 个水槽中。L、M 和 S 鱼初始体重分别为(8.7±0.0)g、(5.3±0.1)g 和(3.2±0.0)g(平均值±标准误,n=8)。每个处理设 4 个重复,共用 24 个水槽(L、M 和 S 鱼各 8 个水槽)。放鱼后从剩下的驯养鱼中随机取 L、M 和 S 鱼各 3 组(20 尾/组)分析全鱼组成。样品分析前保存在-20℃冰箱内。

实验期间每 2 周称一次鱼。每天 8:00 和 16:00 按实验设计投喂,投饵 2h 后收集残饵。将残饵在 105℃下烘干并称重,在没有放鱼的水槽内测饲料溶失率,根据投喂量、残饵量和饲料溶失率计算摄食率。每天光照时间为 12h(8:00—20:00)。水槽内的水连续充气并循环,每天用曝气自来水将约 1/3 的水更换。水槽内溶氧始终高于 6mg/L;水温为(28±0.5)℃。

第 2 周结束时从每个水槽内随机取 5 尾鱼分析全鱼组成;第 8 周结束时从每个水槽中随机取 10 尾鱼分别分析全鱼(5 尾鱼)、鱼躯干(全鱼去除内脏团后剩余部分)及内脏团(包括消化道、肝脏、脾、肾和腹腔脂肪等)组成。

1.3 实验鱼和饲料的组成分析

实验鱼和饲料中干物质含量通过在 105℃下烘样品至恒重来测定;粗蛋白含量用凯氏定氮法测定;粗脂肪用 Soxtec 抽提法测定(以乙醚为抽提溶剂);灰分含量通过在 550℃下灼烧样品至恒重来测定(Wang *et al.*,2000)。

1.4 数据计算与统计分析

摄食率(FI)、特定生长率(SGR)、饲料效率(FE)和内脏团指数(VI)分别按下列公式计算:

$$FI(\%/d) = 100 \times I / [T \times (W_0 + W_t) / 2]$$

$$SGR(\%/d) = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / T$$

$$FE(\%) = 100 \times (W_t - W_0) / I$$

$$VI(\%) = 100 \times W_v / W_t$$

其中,I 为实验鱼在两次称鱼间隔期间摄食的饲料量(g),W₀和 W_t分别为两次称鱼的初体重(g)和终体重(g),T 为两次称鱼间隔的时间(d),W_v为样本鱼内脏团重量(g),W_t为鱼体重量(g)。

用针对两因素实验设计方差分析方法检验第 2 周和第 8 周结束时初始体重和投喂方法对鱼体重、VI、鱼(全鱼、鱼躯干和内脏团)组成的影响,用 Duncan 检验比较各组间的差异;用协方差分析方法检验第 3—4 周、5—6 周和 7—8 周期间各组 FI、SGR 和 FE 的差异(分别以第 2 周、第 4 周和第 6 周末鱼体重为协变量)。方差分析前将 FI、SGR、FE、VI、干物质、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量数据进行反正弦转换。

2 结果

2.1 异育银鲫的生长

第 1—2 周内各规格的停食鱼 SGR 均明显低于同规格对照鱼(P<0.05)。第 3—8 周内,停食的 L 鱼 SGR 明显高于同规格对照鱼(P<0.05);第 5—8 周内,停食的 M 和 S 鱼 SGR 明显高于同规格对照鱼(P<0.05,图 1 上)。第 2 周结束时各规格的停食鱼体重均明显小于同规格对照鱼(P<0.05)。实验结束时,停食的 M 鱼体重与同规格对照鱼无明显差异(P=0.06),停食的 L 和 S 鱼体重仍明显小于同规格对照鱼(P<0.001,图 1 下)。

2.2 异育银鲫摄食与饲料利用效率

第 3—4 周、5—6 周和 7—8 周内停食的 L 鱼 FI 明显高于同规格对照鱼(P<0.05);第 5—6 周和 7—8 周内停食的 M 和 S 鱼 FI 均明显高于同规格对照鱼(P<0.05,图 2 上)。第 3—6 周内停食的 L 鱼 FE 与同规格对照鱼无显著差异(P>0.05),第 7—8 周内明显高于后者(P<0.05);第 3—8 周内停食的 M 和 S 鱼 FE 与同规格对照鱼无显著差异(P>0.05,图 2 下)。

2.3 异育银鲫的鱼体组成

第 2 周结束时,各规格的停食鱼全鱼中水分和灰分含量均明显高于同规格对照鱼(P<0.05),脂肪和蛋白质含量明显低于后者(P<0.05)。停食 2 周的 L 鱼全鱼中 33% 的脂肪和 10% 的蛋白质被消耗,M 鱼全鱼中 39% 的脂肪和 10% 的蛋白质被消耗,S 鱼全鱼中 53% 的脂肪和 14% 的蛋白质

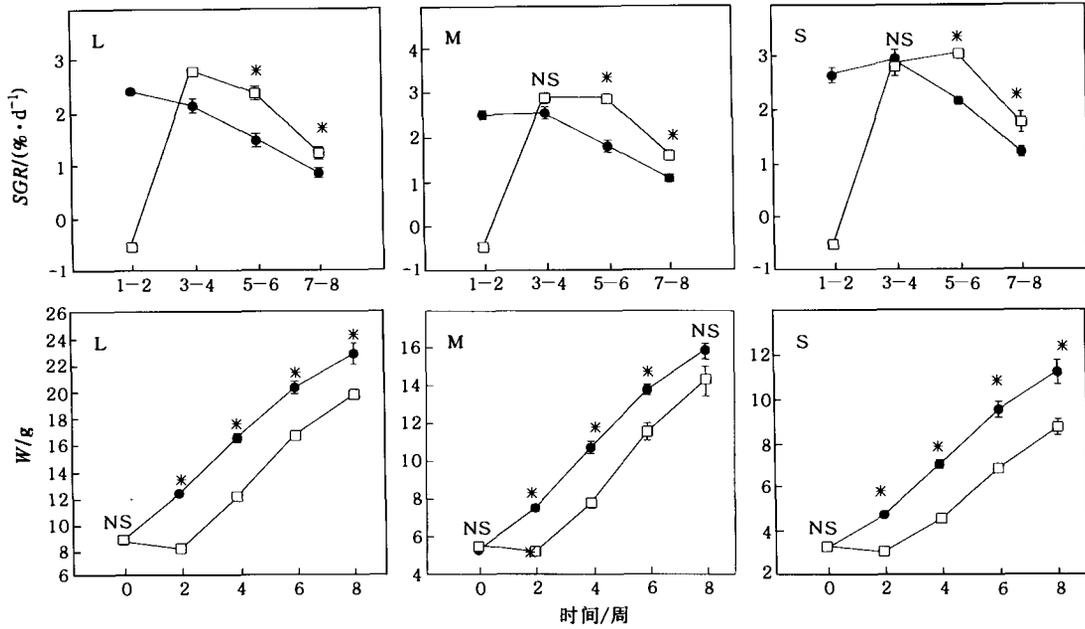


图1 实验期间异育银鲫的特定生长率(SGR)和体重

Fig. 1 Specific growth rate(SGR) and body weight of gibel carp during the experiment

上方3个子图表示特定生长率,下方3个子图表示体重;□:停食鱼,●:对照鱼。

NS表示差异不显著($P > 0.05$),*表示差异显著($P < 0.05$)

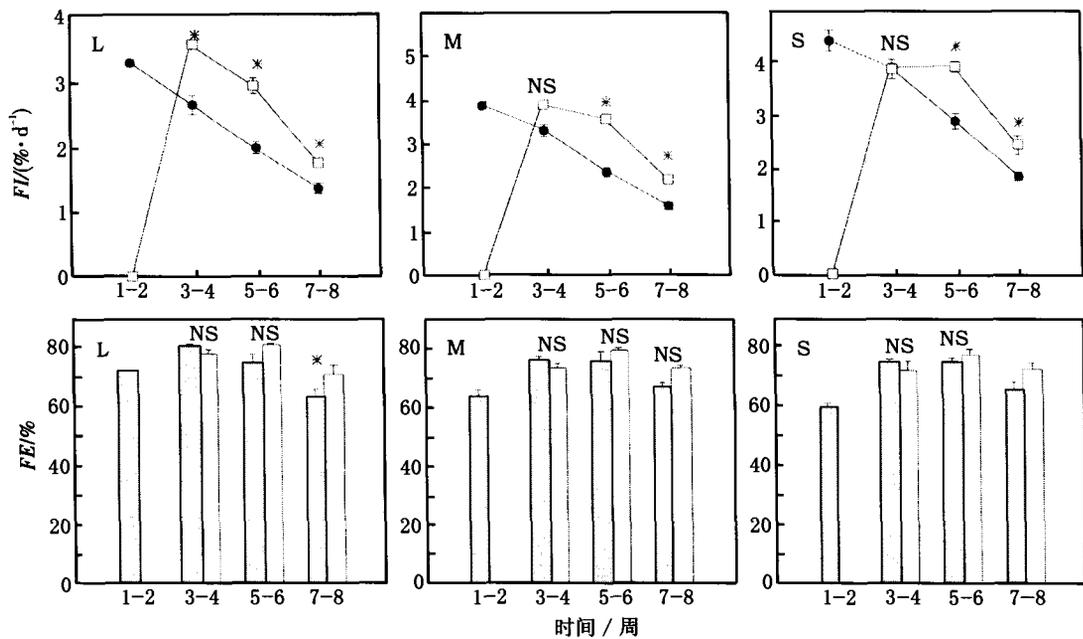


图2 实验期间异育银鲫的摄食率(FI)和饲料利用效率(FE)

Fig. 2 Feed intake(FI) and feed efficiency(FE) of gibel carp during the experiment

上方3个子图表示摄食率,下方3个子图表示饲料利用效率;□:停食鱼,●:对照鱼。

NS表示差异不显著($P > 0.05$),*表示差异显著($P < 0.05$)

被消耗。实验结束时,停食的 M 鱼 VI [(16.1 ± 0.2)%] 与同规格对照鱼 [(16.0 ± 0.2)%] 无显著差异 ($P = 0.66$); 停食的 S 鱼 VI [(16.9 ± 0.3)%] 与同规格对照鱼 [(17.1 ± 0.2)%] 无显著差异 ($P = 0.63$), 但停食的 L 鱼 VI [(15.6 ± 0.3)%] 明显高于同规格对照鱼 [(14.4 ± 0.4)%] ($P < 0.001$)。停食的 L 鱼全鱼中脂肪

和蛋白质含量明显低于同规格对照鱼 ($P < 0.05$), 水分含量高于后者 ($P < 0.05$); 停食的 M 鱼全鱼水分、脂肪、蛋白质和灰分含量与同规格对照鱼无显著差异 ($P > 0.05$); 停食的 S 鱼全鱼蛋白质和灰分含量与同规格对照鱼无显著差异 ($P > 0.05$), 但脂肪含量低于后者 ($P < 0.05$), 水分含量高于后者 ($P < 0.05$) (表 1)。

表 1 实验期间异育银鲫全鱼组成 (平均值 ± 标准误)

Tab. 1 Composition in whole body of gibel carp during the experiment (mean ± S. E.)

时 间	实验处理	蛋白质 (%)	脂肪 (%)	水分 (%)	灰分 (%)	
实验开始时	L	15.5 ± 0.1 ^a	5.0 ± 0.0 ^a	75.6 ± 0.1 ^a	3.4 ± 0.0 ^a	
	M	15.1 ± 0.1 ^b	4.6 ± 0.1 ^b	76.2 ± 0.2 ^b	3.5 ± 0.0 ^b	
	S	14.5 ± 0.0 ^c	3.4 ± 0.1 ^c	77.8 ± 0.2 ^c	3.3 ± 0.0 ^c	
第 2 周末	LC	15.8 ± 0.1 ^a	6.4 ± 0.1 ^a	74.2 ± 0.2 ^a	3.1 ± 0.0 ^a	
	LD	15.0 ± 0.1 ^b	3.6 ± 0.2 ^d	77.4 ± 0.2 ^d	3.7 ± 0.0 ^c	
	MC	15.4 ± 0.1 ^b	5.8 ± 0.2 ^b	75.0 ± 0.2 ^b	3.2 ± 0.1 ^a	
	MD	14.5 ± 0.1 ^c	3.0 ± 0.1 ^e	78.3 ± 0.2 ^c	3.8 ± 0.0 ^d	
	SC	15.1 ± 0.1 ^b	4.8 ± 0.1 ^c	76.2 ± 0.1 ^c	3.3 ± 0.0 ^b	
	SD	13.4 ± 0.1 ^d	1.7 ± 0.2 ^f	80.2 ± 0.2 ^f	4.1 ± 0.0 ^e	
	实验结束时	LC	16.5 ± 0.1 ^a	8.6 ± 0.1 ^a	70.8 ± 0.2 ^a	3.1 ± 0.1
		LD	16.2 ± 0.1 ^{bc}	7.9 ± 0.1 ^b	71.6 ± 0.2 ^b	3.1 ± 0.0
MC		16.4 ± 0.0 ^{ab}	8.0 ± 0.1 ^{bc}	71.5 ± 0.1 ^b	3.1 ± 0.0	
MD		16.3 ± 0.1 ^{bc}	7.8 ± 0.3 ^c	71.7 ± 0.3 ^{bc}	3.1 ± 0.1	
SC		16.1 ± 0.1 ^{cd}	8.2 ± 0.1 ^{ab}	71.4 ± 0.2 ^b	3.1 ± 0.1	
SD	16.0 ± 0.1 ^d	7.7 ± 0.2 ^c	72.2 ± 0.2 ^c	3.1 ± 0.0		

注: L、M、S 表示体重规格; LC、MC、SC 分别表示 L、M、S 规格的对照鱼; LD、MD、SD 分别表示 L、M、S 规格的停食鱼。标准误为 0 者表示标准误 < 0.05 。表中字母表示 Duncan 检验结果, 同列内同时间字母相同者表示差异不显著, 字母不同者表示差异显著。下同

实验结束时, 停食的 L 鱼躯干中蛋白质、脂肪、水分和灰分含量与同规格对照鱼无显著差异 ($P > 0.05$)。停食的 M 鱼躯干中脂肪、水分和灰分含量与同规格对照鱼无显著差异 ($P > 0.05$), 但蛋白质含量明显低于后者 ($P < 0.05$)。停食的 S 鱼躯干中蛋白质和脂肪含量明显低于同规格对照鱼 ($P < 0.05$), 水分含量明显高于后者 ($P < 0.05$, 表 2)。

实验结束时, 停食的 L 鱼内脏团蛋白质和灰

分含量与同规格对照鱼无显著差异 ($P > 0.05$), 但脂肪含量低于后者 ($P < 0.05$), 水分含量高于后者 ($P < 0.05$)。停食的 M 鱼内脏团水分含量与同规格对照鱼无显著差异 ($P > 0.05$), 但蛋白质和灰分含量高于后者 ($P < 0.05$), 脂肪含量低于后者 ($P < 0.05$)。停食的 S 鱼内脏团蛋白质、脂肪、水分和灰分含量与同规格对照鱼无显著差异 ($P > 0.05$, 表 3)。

表 2 实验结束时异育银鲫躯干组成(平均值 ± 标准误)

Tab. 2 Composition in carcass of gibel carp at the end of the experiment(mean ± S. E.)

实验鱼规格	蛋白质 (%)	脂肪 (%)	水分 (%)	灰分 (%)
LC	17.5 ± 0.1 ^a	7.1 ± 0.1 ^a	72.2 ± 0.1 ^a	3.5 ± 0.0
LD	17.3 ± 0.0 ^{ac}	6.9 ± 0.1 ^{abc}	72.5 ± 0.1 ^a	3.5 ± 0.1
MC	17.4 ± 0.1 ^{ab}	6.9 ± 0.2 ^{cd}	72.4 ± 0.2 ^a	3.5 ± 0.0
MD	17.2 ± 0.1 ^c	6.8 ± 0.1 ^{bcd}	72.5 ± 0.2 ^a	3.6 ± 0.0
SC	17.3 ± 0.1 ^{bc}	7.0 ± 0.1 ^{ab}	72.5 ± 0.1 ^a	3.5 ± 0.0
SD	16.9 ± 0.0 ^d	6.7 ± 0.1 ^{cd}	73.1 ± 0.1 ^b	3.5 ± 0.0

表 3 实验结束时异育银鲫内脏组成(平均值 ± 标准误)

Tab. 3 Composition in viscera of gibel carp at the end of the experiment(mean ± S. E.)

实验鱼规格	蛋白质 (%)	脂肪 (%)	水分 (%)	灰分 (%)
LC	9.9 ± 0.1 ^{ab}	14.7 ± 0.3 ^a	64.2 ± 0.3 ^a	0.9 ± 0.0 ^b
LD	9.7 ± 0.2 ^{bc}	13.4 ± 0.4 ^{bc}	65.8 ± 0.5 ^{bc}	0.9 ± 0.0 ^{ab}
MC	9.4 ± 0.1 ^{cd}	13.7 ± 0.4 ^{ab}	65.6 ± 0.8 ^{ab}	0.9 ± 0.0 ^b
MD	10.1 ± 0.2 ^a	12.5 ± 0.7 ^c	66.2 ± 0.7 ^{bc}	1.0 ± 0.0 ^a
SC	9.4 ± 0.1 ^{cd}	13.5 ± 0.3 ^{bc}	66.2 ± 0.4 ^{bc}	0.9 ± 0.0 ^{ab}
SD	9.6 ± 0.1 ^{bd}	12.7 ± 0.7 ^{bc}	67.0 ± 0.6 ^c	1.0 ± 0.0 ^a

3 讨论

通常根据恢复投喂期间鱼生长率和体重的变化程度将补偿生长分为部分补偿和完全补偿。部分补偿指停食鱼在恢复投喂期间生长率高于对照鱼,但最终体重仍明显低于对照鱼;完全补偿指停食鱼经过恢复投喂后体重与对照鱼相同或高于对照鱼(Jobling *et al.*, 1994)。单尾饲养体重为 3.7—6.7g 的异育银鲫停食 1—2 周后表现出完全补偿(Qian *et al.*, 2000; Xie *et al.*, 2001),但成群饲养体重为 2.2g 的异育银鲫停食 1—2 周后未表现出补偿生长(Cui *et al.*, 2006)。Jobling 等(1994)发现体重为 600—1400g 的大西洋鲑饥饿 1—3 周后无补偿生长,饥饿 8 周后出现完全补偿,认为诱导大鱼补偿生长所需的饥饿时间相对较长。体重为 0.41g 的红大麻哈鱼停食 1—3 周后恢复投喂可实现完全补偿生长,但停食 4—8 周后恢复投喂未实现完全补偿,并且死亡率随停食时间延长急剧升高(Bilton *et al.*, 1973)。上述结果表明限食程度决定了鱼类补偿生长能否发生及实现补偿的程度,过轻或过重的饥饿均不利于鱼类实现补偿生长。本实验中,初始体重为

5.4g 的异育银鲫停食 2 周后实现了完全补偿,初始体重为 3.2 和 8.7g 的异育银鲫表现为部分补偿,不仅证实了群体饲养的异育银鲫具有补偿生长能力,表明异育银鲫补偿生长程度与前期饥饿程度有关。本实验结果可在一定程度上解释为什么以往实验中异育银鲫表现出不同程度的补偿生长。

本实验中,恢复投喂后停食的 L 鱼 SGR 迅速升高并明显高于同规格对照鱼,但停食的 M 和 S 鱼在恢复投喂的前 2 周内 SGR 与同规格对照鱼无明显差异,2 周后停食的 M 和 S 鱼 SGR 才明显高于同规格对照鱼,表明经过同样长时间的停食后个体大的异育银鲫较早表现出补偿生长。经过饥饿的三刺鱼(*Gasterosteus aculeatus*)、真鱼岁(*Phoxinus phoxinus*)、大西洋鲑(*Salmo salar*)和舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)恢复摄食后也不同程度的存在 SGR 峰值滞后的现象(Pastoureaud, 1991; Maclean *et al.*, 2001; Zhu *et al.*, 2001)。

本实验中,恢复投喂期间停食的 L、M 和 S 鱼 FI 明显高于同规格对照鱼,表明增加摄食是异育银鲫实现补偿生长的重要途径,这一结果与以往

研究结论一致(Russell *et al.*, 1992; Hayward *et al.*, 1997; Wang *et al.*, 2000; Xie *et al.*, 2001)。恢复投喂的前 2 周内停食的 L 鱼 FI 明显高于同规格对照鱼,但停食的 M 和 S 鱼 FI 与同规格对照鱼无明显差异,恢复投喂 2 周后停食的 M 和 S 鱼 FI 才明显高于同规格对照鱼,这表明经同样长时间的停食后个体大的异育银鲫较快恢复摄食。停食的 M 和 S 鱼恢复投喂后 FI 高峰滞后出现的现象显然与其补偿生长的滞后现象有关。

关于鱼类在补偿生长期间是否提高对食物的利用效率目前还有不同的观点,部分研究表明鱼在补偿生长期间可提高对食物的利用效率(Bilton *et al.*, 1973; Quinton *et al.*, 1990; Russell *et al.*, 1992; Qian *et al.*, 2000),部分研究则得出相反结论(Jobling *et al.*, 1994; Wang *et al.*, 2000; Xie *et al.*, 2001)。海水养殖罗非鱼在补偿生长期间食物能分配模式没有发生明显变化(王岩, 2001)。本实验中,除了停食的 L 鱼在恢复投喂的第 7—8 周内 FE 明显高于同规格对照鱼外,停食的 M 和 S 鱼补偿生长期间 FE 未得到明显改善,这一结果支持 Xie 等(2001)和 Cui 等(2006)的观点,表明增加摄食是异育银鲫实现补偿生长的主要途径。

鱼类补偿生长是鱼类对其在营养限制期间体内贮能物质(脂肪和蛋白质)大量消耗的一种生理调节策略,鱼体内脂肪含量下降是诱发补偿生长的重要原因之一(Jobling *et al.*, 1993, 1999)。本实验中,停食后 L、M 和 S 鱼全鱼中脂肪和蛋白质含量均明显低于同规格对照鱼,这一结果与以往研究结论一致(Wang *et al.*, 2000)。停食 2 周后, L、M 和 S 鱼全鱼中脂肪与蛋白质消耗的比例不同,结合三种规格鱼的补偿生长,初步判断当异育银鲫全鱼中 35%—40% 脂肪和 10% 蛋白质被消耗时再恢复投喂容易产生较强的补偿生长。Jobling 等(1994)认为鱼类补偿生长过程中脂肪以外的组织较脂肪优先得到恢复;虹鳟补偿生长期间不仅鱼体内脂肪含量增加,而且往往伴随蛋白质含量增加(Quinton *et al.*, 1990);饥饿的虹鳟和真鲷(*Pagrus pagrus* L.)在恢复生长阶段肠和肝脏恢复极为迅速,部分内脏器官重量超过未经过饥饿的鱼(Weatherley *et al.*, 1981; Rueda *et al.*, 1998)。本实验结束时停食的 L 和 M 鱼 VI 分别高于同规格对照鱼;停食的 L 鱼全鱼中脂肪和蛋白质含量、内脏团中脂肪含量明显低于同规格对照鱼,躯干中蛋白质和脂肪含量以及内脏团中蛋

白质含量与后者无显著差异;停食的 M 鱼全鱼中脂肪和蛋白质含量与同规格对照鱼无显著差异,躯干中蛋白质含量明显低于后者,内脏团中蛋白质含量高于后者而脂肪含量低于后者;停食的 S 鱼全鱼中脂肪含量和躯干中蛋白质和脂肪含量仍明显低于同规格对照鱼,但内脏团中蛋白质和脂肪含量与后者无显著差异,这些结果与以往研究结论一致(Quinton *et al.*, 1990; Weatherley *et al.*, 1981; Jobling *et al.*, 1994; Rueda *et al.*, 1998)。本实验中,初始体重不同的鱼经过同样的停食和恢复投喂后全鱼、鱼躯干和内脏团组成的差异反映了异育银鲫应对食物资源周期性匮乏方面的策略:停食导致鱼体内脂肪含量大幅度下降,但内脏团组织中蛋白质含量在停食期间保持相对稳定,停食鱼恢复摄食后优先恢复内脏团组织的蛋白质,其次才会恢复肌肉的蛋白质和鱼体脂肪。

参 考 文 献

- 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
- 王 岩, 崔正贺, 2003. 鱼类补偿生长研究中应注意的几个问题. 上海水产大学学报, 12(3): 260—264
- Bilton H T, Robins G L, 1973. The effects of starvation and subsequent feeding on survival and growth of Fulton channel sockeye salmon fry (*Oncorhynchus nerka*). J Fish Res Bd Can, 30: 1—5
- Cui Z, Wang Y, Qin J, 2006. Compensatory growth of group-held gibel carp, following food deprivation. Aquacult Res, 37: 313—318
- Gaylord T G, Gatlin III D M, 2001. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Aquaculture, 194: 337—348
- Hayward R S, Noltie D B, Wang N, 1997. Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates. Trans Am Fish Soc, 126: 316—322
- Hayward R S, Wang N, Noltie D B, 2000. Group holding impedes compensatory growth of hybrid sunfish. Aquaculture, 183: 299—305
- Jobling M, Johansen S J S, 1999. The lipostat, hyperphagia and catch-up growth. Aquacult Res, 30: 473—478
- Jobling M, Mel Φ y O H, Dos Santos J *et al.*, 1994. The compensatory growth response of the Atlantic cod: effects of nutritional history. Aquacult Int, 2: 75—90
- Jobling M, Miglavs I, 1993. The size of lipid depots—a factor contributing to the control of food intake in Arctic charr, *Salvelinus alpinus*?. J Fish Biol, 43: 487—489

- Macleán A, Metcalfe N B, 2001. Social status, access to food, and compensatory growth in juvenile Atlantic salmon. *J Fish Biol*, 58: 1331—1334
- Pastoureaud A, 1991. Influence of starvation at low temperatures on utilization of energy reserves, appetite recovery and growth character in sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 99: 167—178
- Qian X, Cui Y, Xiong B *et al*, 2000. Compensatory growth, feed utilization and activity in gibel carp, following feed deprivation. *J Fish Biol*, 56: 228—232
- Quinton J C, Blake R W, 1990. The effect of feed cycling and ration level on the compensatory growth response in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *J Fish Biol*, 37: 33—41
- Rueda F M, Martínez F J, Zamora S *et al*, 1998. Effect of fasting and refeeding on growth and body composition of red porgy, *Pagrus pagrus* L. *Aquacult Res*, 29: 447—452
- 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
- Wang Y, Cui Y, Yang Y *et al*, 2000. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*, reared in seawater. *Aquaculture*, 189: 101—108
- Weatherley A H, Gills H S, 1981. Recovery growth following periods of restricted rations and starvation in rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson. *J Fish Biol*, 18: 195—208
- Xie S, Zhu X, Cui Y *et al*, 2001. Compensatory growth in the gibel carp following feed deprivation: temporal patterns in growth, nutrient deposition, feed intake and body composition. *J Fish Biol*, 58: 999—1009
- Zhu X, Cui Y, Ali M *et al*, 2001. Comparison of compensatory growth responses of juvenile three-spined stickleback and minnow following similar food deprivation protocols. *J Fish Biol*, 58: 1149—1165

COMPENSATORY GROWTH IN GIBEL CARP (*CARASSIUS AURATUS GIBELIO*): THE EFFECT OF INITIAL BODY SIZE

CUI Zheng-He, WANG Yan

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

Abstract An 8-week experiment was carried out to examine compensatory growth in gibel carp *Carassius auratus gibelio* of different body size. Fish in three size groups at (8.7 ± 0.0) g (large, L), (5.3 ± 0.1) g (medium, M), and (3.2 ± 0.0) g (small fish, S) were used. Fish of each size were fed in regime of 2-week deprivation plus 6-week satiation (deprived fish), or fed to satiation throughout the experiment (control). At the end of Week 2, the deprived fish in L, M and S groups exhibited lower body weight, lower whole body lipid and protein contents, and higher contents of moisture and ash than those of the control. In Weeks 3 to 8, feed intake and SGR (specific growth rate) were higher in the deprived fish than that of control. However, no significant difference was shown in feed efficiency between the deprived and control fish. At the end of Week 8, no significant difference was found in body weight among the M fish, but body weight was lower in the deprived fish of other sizes than the control, suggesting the M fish had complete growth compensation and the L and S fish had partial compensation. There were no significant differences in carcass composition between the deprived L fish and their control, in whole body composition between the deprived M fish and their control, and in viscera composition between the deprived S fish and their control. The deprived L fish exhibited lower whole body protein and lipid contents and viscera lipid content than those of their control, and the deprived M fish exhibited lower carcass protein content and viscera lipid content than those of their control, and the deprived S fish exhibited lower whole body lipid content and carcass lipid and protein contents than those of their control.

Key words Gibel carp, Compensatory growth, Feed deprivation, Body weight