

长吻鲢、异育银鲫和草鱼补偿生长的比较研究

杨严鸥, 姚 峰, 何文平

(长江大学 动物科学学院, 湖北 荆州 434025)

摘要:在水温 $(26 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、自然光照条件下,以长吻鲢(*Leiocassis longirostris*)、异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)和草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)为研究对象,设定3种投喂方式。实验饵料为水蚯蚓(*Linnodrilus hoffmeisteri*)。第1种方式为连续投喂,整个实验期间不间断;第2种连续投喂4 d后饥饿1 d;第3种连续投喂2 d后饥饿1 d。3种方式分别以 S_0 (对照组)、 $S_{1/4}$ 和 $S_{1/2}$ 表示。实验周期均为30 d。结果显示,长吻鲢和异育银鲫在3种处理条件下的终体重无显著差异,草鱼在 S_0 组(对照组)和 $S_{1/4}$ 组的终体重无显著差异, $S_{1/2}$ 组的终体重显著降低。这表明,长吻鲢和异育银鲫在 $S_{1/4}$ 和 $S_{1/2}$ 组时具有完全补偿生长现象,而草鱼只在 $S_{1/4}$ 组具有完全补偿生长现象,在 $S_{1/2}$ 组则发生部分补偿生长。结论认为,长吻鲢和异育银鲫的补偿生长能力要强于草鱼。3种鱼在不同处理条件下的饲料转化效率和蛋白质效率比都没有显著差异,补偿生长是通过提高实际摄食率实现的。

关键词:长吻鲢;异育银鲫;草鱼;补偿生长

中图分类号:S964.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8737-(2005)05-0575-05

补偿生长是指在恶劣环境条件下,生长停滞或发生负生长的动物在环境条件恢复正常时生长速度加快的现象、过程或能力^[1]。补偿生长在自然种群中可能普遍存在^[2-4]。研究水产动物补偿生长的特点,有助于揭示水产动物适应饥饿或营养不足胁迫的生理生态学对策。在生产实践中,利用补偿生长可提高渔业产量、降低饲料消耗和劳动成本的作用^[2,3-7]。

长吻鲢(*Leiocassis longirostris*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)和异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)是中国重要的经济鱼类,研究这些鱼类是否具有补偿生长现象或补偿生长能力的大小,可以为渔业资源管理及水产养殖实践提供理论依据^[8-9]。目前关于鱼类补偿生长的研究主要是比较同种鱼在不同处理条件下的补偿生长能力^[8-16],对不同鱼类补偿生长的特点则缺乏直接的比较研究,而利用不同研究的资料进行间接比较,由于实验条件的差异,结果不尽准确。本实验在完全相同的条件下探讨3种鱼类种间补偿能力及补偿方式的差异,旨在为鱼类生理生态学的研究提供新的科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计

长吻鲢、异育银鲫和草鱼为当年鱼种。在实验室中至少饲养30 d后,在本实验条件下再饲养7 d。实验在 $40\text{ cm} \times 25\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 的玻璃水族箱中进行,每3~6天换水1次。水温变幅为 $(26 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。实验鱼初始体重见表1。

实验饵料为水蚯蚓,每次称量前用滤纸吸干水分。实验期间,每天称取部分水蚯蚓作为样本冰冻保存。实验结束后将所有样本混合并烘干,测定其干物质含量为17.50%,干物质中粗蛋白含量为48.22%,以代表实验期间饵料水蚯蚓的干物质和粗蛋白含量。

实验开始前,将鱼饥饿24 h,然后随机取样称重,每缸放入3尾鱼,每一组合(鱼和不同处理)含3个平行缸。另对每种鱼取样3条,称重后 70°C 烘干至恒重,用以测定鱼体初始干物质含量。每种鱼设3种投喂方式。第1种:连续投喂水蚯蚓,整个实验期间不间断;第2种:连续投喂4 d后饥饿1 d;第3种:连续投喂2 d后饥饿1 d。3种方式分别以 S_0 (对照组)、 $S_{1/4}$ 和 $S_{1/2}$ 表示。连续投喂是指每天9:00投

收稿日期:2004-09-06; 修订日期:2004-12-09。

基金项目:湖北省教育厅研究项目资助(2000H05008)。

作者简介:杨严鸥(1967-),男,博士,副教授,主要从事鱼类营养学和生理生态学研究。Tel: 0716-8066751。E-mail: cdyeo@126.com

过量水蚯蚓,第2天9:00回收残饵,再投入新鲜的过量水蚯蚓,第3天9:00再回收残饵,如此循环往复。残饵用吸管和鱼捞回收,用滤纸吸干水分后称重,并根据溶失率校正整个实验的残饵量。测定溶失率时在3个空白水族箱中投放定量的水蚯蚓,24 h后回收称重,计算溶失率。实验持续30 d,3种方式(S_0 、 $S_{1/4}$ 和 $S_{1/2}$)实际投喂天数分别为30 d、24 d和20 d。

实验结束时,将鱼饥饿24 h,称量每缸鱼的总重,烘干后再称量干重。

1.2 生化分析

饵料干物质和鱼体干物质含量的测定是在70℃下烘干至恒重后称重。饵料蛋白质含量用凯氏定氮法测定。

1.3 数据处理

各实验量数依下列公式计算:

$$\text{湿重特定生长率 } \text{SGR}_w = 100(\ln W_t - \ln W_o) / t$$

$$\text{干重特定生长率 } \text{SGR}_d = 100(\ln W_{td} - \ln W_{od}) / t$$

$$\text{摄食率 } \text{FR} = 200 I_{Td} / t (W_t + W_o)$$

$$\text{实际摄食率 } \text{AFR} = 200 I_{Td} / t_1 (W_t + W_o)$$

$$\text{饵料转化效率 } \text{FCE} = 100(W_t - W_o) / I_{Td}$$

$$\text{蛋白质摄食率 } I_p = 200 I_{Tp} / t (W_t + W_o)$$

$$\text{蛋白质效率比 } R_p = (W_t - W_o) / I_{Tp}$$

式中, W_t 为鱼体终末湿重(g), W_o 为鱼体初始湿重(g), W_{td} 为鱼体终末干重(g), W_{od} 为鱼体初始干重(g), t 为实验周期(30 d), t_1 为实际摄食天数(d), I_{Td} 为实验期间的总饵料消耗(g,湿重), I_{Tp} 为实验期间的总蛋白质消耗(g)。

对每种鱼在3种处理条件下的平均数用方差分析后进行组间差异的多重比较(Duncan's procedure),数据处理用Excel和Spss分析软件完成。

2 结果与分析

2.1 生长

由表1可知,3种鱼的初始体重无显著差异,长吻鲈和异育银鲫在3种处理条件下的末重、湿重特定生长率和干重特定生长率无显著差异, $S_{1/4}$ 组草鱼的这3项指标与 S_0 组无显著差异,而 $S_{1/2}$ 组的这些指标则显著低于 S_0 组。

表1 长吻鲈、异育银鲫和草鱼的初重、末重、湿重特定生长率和干重特定生长率
Tab.1 Initial body weight, final body weight and wet and dry specific growth rates
in long-snout catfish, gibel carp and grass carp

种类 Species	投喂方式 Feeding regimes	初始湿重/g Initial body weight	终末湿重/g Final body weight	湿重 特定生长率/ (%·d ⁻¹)	干重 特定生长率/ (%·d ⁻¹)
				SGR_w	SGR_d
长吻鲈 Long-snout catfish	S_0	6.26 ± 0.21	10.93 ± 0.10	1.86 ± 0.16	2.38 ± 0.27
	$S_{1/4}$	6.13 ± 0.47	10.35 ± 0.52	1.78 ± 0.14	2.20 ± 0.14
	$S_{1/2}$	5.95 ± 0.66	10.09 ± 1.04	1.76 ± 0.35	2.16 ± 0.47
异育银鲫 Gibel carp	S_0	6.66 ± 0.44	15.17 ± 0.81	2.75 ± 0.38	3.60 ± 0.38
	$S_{1/4}$	6.67 ± 0.41	14.80 ± 1.23	2.66 ± 0.40	3.40 ± 0.29
	$S_{1/2}$	6.88 ± 1.29	14.48 ± 1.70	2.55 ± 0.56	3.17 ± 0.41
草鱼 Grass carp	S_0	7.01 ± 0.78	12.60 ± 0.63 ^a	1.97 ± 0.28 ^a	2.87 ± 0.34 ^a
	$S_{1/4}$	6.65 ± 0.43	11.42 ± 0.54 ^{ab}	1.70 ± 0.14 ^{ab}	2.55 ± 0.21 ^a
	$S_{1/2}$	6.86 ± 0.61	10.62 ± 0.88 ^b	1.46 ± 0.15 ^b	1.91 ± 0.23 ^b

注:1) * 上标字母表示 Duncan 检验的结果,字母不同表示有显著差异($P < 0.05$)。

2) S_0 —整个实验周期连续投喂水蚯蚓; $S_{1/4}$ —每投喂4 d水蚯蚓后饥饿1 d; $S_{1/2}$ —每投喂2 d水蚯蚓后饥饿1 d。

Note:1) * Superscripts show the results of multiple range test (Duncan's procedure). Different letters show significant differences ($P < 0.05$).

2) Group S_0 —Feed with live tubificid worm during the whole experiment period. Group $S_{1/4}$ —Feed with live tubificid worm for four days and stop feeding for one day, in cycle. Group $S_{1/2}$ —Feed with live tubificid worm for two days and stop feeding for one day, in cycle.

2.2 饲料利用

由表2可知,长吻鲢和异育银鲫的摄食率在各处理组之间无显著差异,而实际摄食率随着投喂天数的缩短显著提高。草鱼摄食率随着投喂天数的缩短显著下降,而实际摄食率随着投喂天数的缩短显著提高,但在 $S_{1/4}$ 组与 $S_{1/2}$ 组之间无显著差异。3种鱼的

饲料转化效率在各个处理组之间均无显著差异。

2.3 蛋白质利用

由表3可知,长吻鲢和异育银鲫的蛋白质摄食率和蛋白质效率比在各个处理组无显著差异。草鱼的蛋白质摄食率随着投喂天数的缩短显著下降,蛋白质效率比在不同处理组均无显著差异。

表2 长吻鲢、异育银鲫和草鱼的摄食率和饲料转化效率

Tab.2 Feeding rate and feeding conversion efficiency in long-snout catfish, gibel carp and grass carp $\bar{X} \pm SD$

种类 Species	投喂方式 Feeding regime	摄食率/(%·d ⁻¹) FR	实际摄食率/% AFR	饲料转化效率/% PCE
长吻鲢 Long-snout catfish	S_0	6.56 ± 0.59	6.56 ± 0.59 ^a	27.30 ± 3.24
	$S_{1/4}$	6.43 ± 0.30	8.04 ± 0.36 ^b	27.33 ± 2.21
	$S_{1/2}$	6.50 ± 0.84	9.75 ± 1.03 ^c	26.73 ± 3.39
异育银鲫 Gibel carp	S_0	11.04 ± 1.05	11.04 ± 1.05 ^a	23.48 ± 1.59
	$S_{1/4}$	10.86 ± 0.41	13.57 ± 0.51 ^b	23.79 ± 3.89
	$S_{1/2}$	10.47 ± 0.92	15.70 ± 1.20 ^c	22.97 ± 2.98
草鱼 Grass carp	S_0	13.38 ± 0.37 ^a	13.38 ± 0.37 ^a	14.27 ± 1.49
	$S_{1/4}$	11.88 ± 0.44 ^b	14.85 ± 0.55 ^b	14.05 ± 1.31
	$S_{1/2}$	10.30 ± 0.64 ^c	15.46 ± 0.97 ^b	13.93 ± 1.29

* 上标字母表示 Duncan 检验的结果,字母不同表示有显著差异($P < 0.05$)。

* Superscripts showed the result of multiple range test (Duncan's procedure). Different letters showed significant differences($P < 0.05$).

表3 长吻鲢、异育银鲫和草鱼的蛋白质摄食率和蛋白质效率比

Tab.3 Protein feeding rate and protein efficiency rate in long-snout catfish, gibel carp and grass carp $\bar{X} \pm SD$

品种 Species	投喂方式 Feeding regime	蛋白质摄食率/(%·d ⁻¹) I_p	蛋白质效率比 PER
长吻鲢 Long-snout catfish	S_0	0.57 ± 0.06	3.24 ± 0.39
	$S_{1/4}$	0.54 ± 0.03	3.23 ± 0.25
	$S_{1/2}$	0.54 ± 0.03	3.17 ± 0.25
异育银鲫 Gibel carp	S_0	0.93 ± 0.10	2.78 ± 0.19
	$S_{1/4}$	0.92 ± 0.04	2.76 ± 0.46
	$S_{1/2}$	0.89 ± 0.08	2.72 ± 0.35
草鱼 Grass carp	S_0	1.13 ± 0.03 ^a	1.69 ± 0.15
	$S_{1/4}$	1.02 ± 0.03 ^b	1.63 ± 0.11
	$S_{1/2}$	0.87 ± 0.07 ^c	1.59 ± 0.16

* 上标字母表示 Duncan 检验的结果,字母不同表示有显著差异($P < 0.05$)。

* Superscripts showed the result of multiple range test (Duncan's procedure). Different letters showed significant differences($P < 0.05$).

3 讨论

鱼类的生长对策从补偿量(体重)角度考察主要有4类^[3-6,17]:超速补偿(over-compensatory)、完全补偿(complete compensatory)、部分补偿(partial compensatory)和不能补偿(non-compensatory)。本实验中,长吻鲢和异育银鲫在2种饥饿处理条件下的体重与饱食对照组无显著差异,因此这2种鱼在

本实验条件下都具备完全补偿生长能力,而草鱼在 $S_{1/4}$ 组的体重和对照组无显著差异,具备完全补偿生长能力。草鱼在 $S_{1/2}$ 组的实际摄食率与对照组比有显著提高,但以整个实验周期的30 d计算,摄食率与对照组比则是下降的,在转化效率没有显著变化的条件下,这导致 $S_{1/2}$ 组的生长率下降。体重不及对照组,但如果没有实际摄食率的显著提高, $S_{1/2}$ 组生长率的下降幅度会更大,体重会更低,因此 $S_{1/2}$ 组

应该被看作有部分补偿生长能力。可以看出,随着实际投喂时间的缩短,草鱼的补偿生长能力明显降低,长吻鲢和异育银鲫的补偿生长能力要强于草鱼。这与鱼的种类不同有关,但是否与其食性有关还不能确定。长吻鲢、异育银鲫和草鱼分别属于肉食、杂食和草食性鱼类,以往的补偿生长实验对3种食性的鱼类都有涉及,但由于不同实验中实验鱼的规格、实验设计和实验条件不同,很难看出补偿能力和食性之间有什么内在的联系^[1-3,7-9,15-21]。这一问题还有待进一步地探讨。

目前认为鱼类产生补偿生长的生理机制主要有3种:1)提高食物转化效率。饥饿使某些鱼类的代谢水平降低,当恢复进食时,较低的代谢水平能维持一段时间,这种代谢支出的降低使鱼类用于生长的能量增多,从而提高了食物的转化率^[6,12]。美国红鱼的补偿生长效应主要就是由降低标准代谢率和提高食物转化率实现的^[2]。2)提高摄食率^[6,18,20-21]。某些鱼类在饥饿后恢复喂食时,体内立即进行大量的合成作用,代谢水平迅速升高,不能通过降低代谢水平改善食物转化率,补偿生长是鱼类在恢复喂食时增加了食欲,大幅度提高摄食水平实现的。3)提高摄食率的同时改善食物转化效率^[18]。本实验中,长吻鲢和异育银鲫的饲料转化效率在各个处理组均无显著差异($P>0.05$),而两种鱼的实际摄食率按 S_0 组、 $S_{1/4}$ 组和 $S_{1/2}$ 组的顺序显著升高,并且升高的幅度足够大,这导致总摄食率在各个处理组间无显著差异($P>0.05$),说明这两种鱼的完全补偿生长是通过提高摄食率来实现的。草鱼饲料转化效率在各个处理组也无显著差异($P>0.05$),实际摄食率随着投喂天数的缩短显著提高,草鱼的完全补偿生长和部分补偿生长也是通过提高摄食率实现的。

中国对虾摄食低蛋白饲料后再摄食高蛋白饲料,蛋白质效率比显著提高^[22],而本实验中,3种鱼的蛋白质效率比在各处理组均无显著差异($P>0.05$),二者结果不同,可能与动物种类不同有关,也可能与实验设计不同有关。实验中影响补偿生长的因子是不同的饲料^[22],具体而言是饲料中的蛋白质水平不同,而本实验中影响补偿生长的因子是不同的饥饿时间,饲料则只有一种。影响长吻鲢和异育银鲫的蛋白质摄食率在各个处理组无显著差异($P>0.05$),而草鱼的蛋白质摄食率随着实际投喂天数的缩短而显著降低($P<0.05$),这与其摄食率的变化一致。

采用禁食和不限限制摄食交替进行的摄食制度,可以在补偿反应减弱时又使之重新激活,以增加鱼类用于补偿生长的时间^[7,19]。Robert等^[7]曾对杂交翻车鱼交替饥饿2 d和14 d,发现其生长比连续投喂的生长分别快2倍和1.4倍,即出现了超补偿生长现象。本实验没有出现超补偿现象,这可能与实验鱼的种类不同有关,或者可能与饥饿和饱食天数的设计不同有关^[19],这一问题还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 王燕妮,张志勇,邓耀民. 鲢鱼补偿生长及饥饿对淀粉酶的影响[J]. 水利渔业, 2001, 20(5): 6-8.
- [2] 姜志强,贾泽梅,韩延波. 美国红鱼饥饿后的补偿生长及其机制[J]. 水产学报, 2002, 26(1): 67-72.
- [3] 沈文英,寿建昕. 鱼类补偿生长的研究进展[J]. 水利渔业, 2003, 23(4): 40-42.
- [4] 张波,孙耀,王俊,等. 真鲷饥饿后恢复生长中的生态转化效率[J]. 海洋水产研究, 1999, 20(2): 38-41.
- [5] 朱鑫华,廖伟,钱薇薇. 鱼类补偿生长及对资源生态学特征的影响[J]. 水产学报, 2001, 25(6): 265-269.
- [6] 谢小军,邓利,张波. 饥饿对鱼类生态学影响的研究进展[J]. 水生生物学报, 1998, 22(2): 181-188.
- [7] Robert S H, Douglas B N, Ning W. Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates[J]. Trans Am Fish Soc, 1997(126): 316-322.
- [8] Bilton H T, Robins G L. The effect of starvation and subsequent feeding on survival and growth of Fulton Channel sockeye salmon fry, *Oncorhynchus nerka* [J]. J Fish Res Bd Can, 1973(30): 1-5.
- [9] Jobling M, Meloy O H, Santo J D, et al. The compensatory growth response of the Atlantic cod: effects of nutritional history[J]. Aquac Int, 1994, (2): 75-90.
- [10] 吴立新,董双林,田相利. 中国对虾饥饿后的补偿生长研究[J]. 生态学报, 2001, 21(3): 452-457.
- [11] Hay Ward R S, Noltie D B, Wang N. Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates[J]. Trans Amer Fish Soc, 1997, (126): 316-322.
- [12] 邓利,张波,谢小军. 南方鲷饥饿后的恢复生长[J]. 水生生物学报, 1999, 23(2): 167-173.
- [13] 朱鑫华,王云峰,刘伟. 温度对南方鲷资源补充特征的生态研究[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(5): 477-485.
- [14] 钱薇薇,朱鑫华. 摄食水平对梭鱼的生长和能量收支的影响[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(6): 612-620.
- [15] 沈文英,林浩然,张为民. 饥饿和再投喂对草鱼种生物学组成的影响[J]. 动物学报, 1999, 45(4): 404-412.
- [16] Brett J R. Fish Physiology VIII [M]. New York: Academic Press, 1979. 599-677.
- [17] Westberry A H, Gill H S. The Biology of Fish Growth [M].

- London: Academic Press, 1987, 133-216.
- [18] 王 岩. 海水养殖罗非鱼补偿生长的生物学能量学机制[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(3): 233-239.
- [19] 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.
- [20] Hayward R S, Noltie D B, Wang N. Use of compensatory growth responses of juvenile three-spined stickle back and minnow following similar food deprivation protocols[J]. J Fish Biol, 2001, 58: 1149-1165.
- [21] Kim M K, Lovell R T. Effect of restricted feeding regimes on compensatory weight gain and body tissue changes in channel catfish *Ictalurus punctatus* in ponds[J]. Aquaculture, 1995, 135: 285-293.
- [22] Wu L X, Dong S L. Effects of protein restriction with subsequent realimentation on growth performance of juvenile Chinese shrimp (*Penaeus chinensis*)[J]. Aquaculture, 2002, 210(1-4): 343-358.

Comparative study on compensatory growth in long-snout catfish, gibel carp and grass carp

YANG Yan-ou, YAO Feng, HE Wen-ping

(Science of Animal College, Yangtze University, Jingzhou 434205, China)

Abstract: In order to investigate the compensatory growth in long-snout catfish (*Leiocassis longirostris*), grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) and gibel carp (*Carassius auratus gibelio*), a 30 d growth experiment was conducted in three feeding regimes. The trial was carried out in a system consisting of 27 tanks (each 40 cm × 25 cm × 30 cm) at temperature (26 ± 2) °C and natural photoperiod. During the experiment period, live tubificid worms (*Limnodrilus hoffmeisteri*) containing 48.22% crude protein (in dry weight) were fed and the water in each tank was replenished once 3-6 d.

The fish were deprived of food for one day at the beginning of the experiment, then three individuals of long-snout catfish, grass carp or gibel carp were randomly selected, batch-weighed and allocated into each tank. Each combination of fish species and feeding regimes contained three tanks selected randomly. For the first regime, fish were fed to satiation during the whole experiment period. For the second regime, fish were fed to satiation for 4 d and then were deprived of food for one day. For the third regime, fish were fed to satiation for 2 d and then were deprived of food for one day. The three regimes were regarded as S_0 , $S_{1/4}$ and $S_{1/2}$. Feeding to satisfaction meant that, a weighted excess worms were fed to fish in a tank at 9:00 and the residual worms were collected one day after feeding and re-weighed. Weight loss in the worms was determined from 3 control tanks containing no fish. The weight of the residual food was corrected with the weight loss in the worms. Immediately before weighing, the worm mass was spread on a piece of filter paper to remove excessive water.

The results showed that, final body weight in long-snout catfish and gibel carp were not affected by feeding regime, while in grass carp, final body weight decreased significantly in group $S_{1/2}$. Long-snout catfish and gibel carp had compensatory growth, while grass carp had complete compensatory growth only in group $S_{1/4}$, and had partial compensatory growth in group $S_{1/2}$. In conclusion, long-snout catfish and gibel carp had higher ability on compensatory growth compared to grass carp. For each species, feeding conversion efficiency and protein efficiency rate were not affected by feeding regime, and compensatory growth resulted from higher feeding rate.

Key words: long-snout catfish; gibel carp; grass carp; compensatory growth