

淡水养殖太平洋鲑鱼饥饿后补偿性生长效果研究^{*}

冯 健¹, 李程琮¹, 梁桂英¹, 陈志伟²

(1. 中山大学水生经济动物研究所, 广东 广州510275;

2. 广东顺德华星饲料公司, 广东 顺德 528300)

摘 要: 初始质量约为240 g的太平洋鲑鱼 *Oncorhynchus* spp., 于0.25 m³的水族箱中养殖64 d, 水温为(15.5±3.7)℃, 研究淡水养殖太平洋鲑鱼饥饿后补偿性生长效果。实验分6组, 分别为对照组(每日投喂), 实验1组(隔日投喂), 实验2组(隔2 d投喂2 d), 实验3组(隔4 d投喂4 d), 实验4组(隔8 d投喂8 d), 实验5组(隔16 d投喂16 d)。实验结果表明: 饥饿1~4 d再循环投饲组太平洋鲑鱼表现出完全补偿生长, 而饥饿8~16 d组太平洋鲑鱼不能补偿生长, 补偿生长效果是摄食率和食物转化率同时提高的结果。

关键词: 太平洋鲑鱼 *Oncorhynchus* spp.; 饥饿; 补偿生长; 营养

中图分类号: Q175; S917 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579(2005)03-0086-04

自然界中动物经常会在一定阶段面临食物匮乏而受到饥饿胁迫。一般动物在饥饿造成营养不足一段时间后恢复摄食普遍出现超正常生长速度的补偿生长现象^[1-3]。鱼类饥饿后补偿生长效果是近来鱼类营养研究上一个引人注目的领域。一些研究表明鱼类具有更强的饥饿后补偿生长效应^[4-6]。在鱼类养殖过程中, 深入研究其效果和机理对建立新的养殖模式、取得更好的经济效益有所帮助, 同时对保护养殖水环境也具有重要意义。目前国内除了南方鲑鱼等极少数鱼类外, 对其他淡水养殖鱼类饥饿后补偿性生长效果少有报道^[7,8]。

太平洋鲑鱼 *Oncorhynchus* spp. 是世界范围内三种广泛养殖鱼类之一。该鱼属于典型的冷水性鱼类, 而我国沿海海水温度明显高于该鱼的适宜生长水温, 不适宜饲养该鱼。但该鱼可在我国内陆部分水温较低的湖泊、水库与江河中养殖并已经形成规模化^[9]。在淡水养殖模式下, 太平洋鲑鱼是否具有良好的饥饿后补偿效果, 饥饿后补偿模式下对其鱼体组成的改变和在饥饿后补偿过程中的生理特点与变化尚无正式报道。本实验研究了淡水养殖太平洋鲑鱼饥饿后补偿模式下的营养生理特点与生长性能表现, 为我国淡水养殖太平洋鲑鱼模式提供相关的基础理论与数据。

1 材料与方法

1.1 试验鱼分组与试验日粮

试验鱼分6组, 分别为对照组(每日投喂),

实验1组(隔日投喂), 实验2组(隔2 d投喂2 d), 实验3组(隔4 d投喂4 d), 实验4组(隔8 d投喂8 d), 实验5组(隔16 d投喂16 d)。试验日粮组成和其营养标准参照NRC 1993年版^[10]。试验日粮蛋白质水平为38.1, 脂肪水平为16.1, 总糖为24.3, 消化能为3 716 kcal·kg⁻¹。

1.2 饲养管理

实验太平洋鲑鱼由顺德阳山实验鱼场提供。试验鱼平均初始质重为240 g左右, 在0.25 m³的水族箱中暂养7 d后开始正式实验, 每个水族箱中放养6尾。每组设3个平行重复水族箱, 每天投喂2次, 分别为9:00和16:00, 投饲量按投饲量减去残饵(饱食后20 min搜集烘干)。饲养期为64 d。每天换水1/3并记录水温, 每天定时充气12 h。

1.3 样品采集和分析

饲养结束后称取各水族箱鱼质量, 每个水族箱取2尾鱼, 每个试验组共取6尾鱼。分别称质量, 测量其体长和全长, 计算肥满度, 取内脏称量计算内脏/躯体比, 取肝脏称量计算肝/躯体比, 剥离肠脂称量计算肠脂/躯体比, 取血清、肝脏、肠脂、背肌样品急速冷冻保存。另取其背肌烘干, 测蛋白、脂肪、灰份含量。使用全自动生化分析仪(HITACHI)测定血清中甲状腺激素含量, 其方法参考日立血液生化分析指南。各样品中的蛋白用微量凯氏定氮法测定, 灰分用干法灰化法, 肝脏、肠脂、肌肉和饲料脂肪含量测定采用甲缩醛—甲醇法。

* 收稿日期: 2004-05-14

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(2002722)

作者简介: 冯健(1958年生), 男, 副教授; E-mail: ls59@zsu.edu.cn

试验组间数据显著性变化采用 Newman Keuls's 试验。数据统计分析采用 Duncan's 多重比较法，显著水平采用 0.05，极显著水平采用 0.01。

2 结 果

2.1 各组太平洋鲑鱼的特定生长率、摄食率、食物转化率和蛋白效率比

各实验组太平洋鲑鱼的特定生长率、摄食率、食物转化率和蛋白效率比见表 1。饲养 64 d 后，各组太平洋鲑鱼的存活率均为 100%。从表 1 可以看

出，实验结束时，实验 1、2、3 组鱼体质量和对照组无显著性差异，产生完全补偿生长现象；实验 4、5 组体质量极显著低于前 4 组 ($P<0.01$)，且特定生长率和对照有显著性差异，因此表现为不能补偿生长现象。摄食率、食物转化率与蛋白效率比实验 1、2、3 组均比对照组高；而实验 4、5 组食物转化率与蛋白效率比均极显著低于对照，摄食率显著性高于对照。表明实验 1、2、3 组鱼产生的完全补偿生长是由摄食率和食物转化率同时提高引起的。

表 1 各组太平洋鲑鱼恢复生长期间特定生长率、摄食率、食物转化率和蛋白效率比¹⁾

Tab 1 The specific growth rates (SGR), feeding rate (FR), feed modulus (FM) and protein efficiency ratio (PER) in fish						
组别	始质量(w_1/g)	末质量(w_2/g)	特定生长率/%	摄食率/%	食物转化率/%	蛋白效率比/%
对照组	242.1±9.7	498.9±27.4 ^A	1.13±0.14 ^A	2.16±0.26 ^A	50.25±6.68 ^{Aa}	19.15±2.15 ^{Aa}
实验 1 组	242.7±10.2	486.9±31.5 ^A	2.18±0.42 ^B	3.72±0.46 ^B	56.18±5.09 ^{Ab}	21.41±2.05 ^{Aa}
实验 2 组	244.4±6.8	489.5±34.1 ^A	2.17±0.24 ^B	3.28±0.24 ^B	63.69±5.73 ^{Ab}	24.30±2.18 ^{Ab}
实验 3 组	238.0±9.8	484.7±37.5 ^A	2.22±0.46 ^B	2.67±0.35 ^A	80±7.09 ^{Ac}	30.48±3.03 ^{Ab}
实验 4 组	242.0±11.2	314.6±20.3 ^B	0.82±0.10 ^C	3.56±0.38 ^B	22.88±2.71 ^D	8.72±0.81 ^C
实验 5 组	242.4±10.5	317.2±19.6 ^B	0.84±0.09 ^C	4.11±0.47 ^B	20.33±2.04 ^D	7.74±0.77 ^C

1) 同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异 ($P<0.05$)，大写字母代表有极显著差异 ($P<0.01$)

2.2 实验各组太平洋鲑鱼的肥满度、肠脂比、肝体比、肝脏脂肪、糖原含量

实验各组太平洋鲑鱼的肥满度、肠脂比、肝体比、肝脏脂肪、糖原含量见表 2。从表 2 可以看出，实验组与对照组太平洋鲑鱼肠脂比相似；而肥满度、肝体比、肝脏脂肪、糖原含量均均以对照组

为最高，肥满度、肝体比、肝脏脂肪含量实验组均显著小于对照；实验 1、2、3 组糖原含量与对照组无显著性差异。这些结果表明，饥饿 1~16 d 后恢复摄食并不能使鱼体肥满度、肝体比、肝脏脂肪、糖原含量含量恢复到对照组水平。

表 2 实验各组太平洋鲑鱼的肥满度、肠脂比、肝体比与肝脏脂肪、糖原含量¹⁾

Tab 2 The degree of grossness rates of lipid in mesentery/body and liver/body, content of lipid in liver on fish					
组别	肥满度	肠脂比	肝体比	肝脂肪含量	肝糖原含量
对照组	2.24±0.16 ^a	3.06±0.36	1.39±0.21 ^a	9.71±1.36 ^a	14.53±2.69 ^A
实验 1 组	1.75±0.21 ^b	2.99±0.41	0.96±0.17 ^b	8.28±1.02 ^{ab}	14.42±1.41 ^A
实验 2 组	1.76±0.19 ^b	3.02±0.33	0.83±0.12 ^{bc}	7.93±1.11 ^b	13.89±1.58 ^A
实验 3 组	1.69±0.22 ^b	2.94±0.26	0.97±0.19 ^b	7.50±0.91 ^b	11.82±2.65 ^A
实验 4 组	1.81±0.14 ^b	3.22±0.30	0.75±0.10 ^c	5.61±0.72 ^c	4.82±0.98 ^B
实验 5 组	1.91±0.17 ^{ab}	2.95±0.38	0.76±0.08 ^c	5.89±0.64 ^c	5.57±1.13 ^B

1) 同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异 ($P<0.05$)，大写字母代表有极显著差异 ($P<0.01$)

2.3 各试验组太平洋鲑鱼的背肌水分、脂肪、蛋白质、糖原、灰份含量与比能值

各试验组太平洋鲑鱼背肌水分、脂肪、蛋白质、糖原、灰份含量与比能值见表 3。从表 3 可以看出，对照组与实验 1、2、3 组背肌生化组成基本相似；实

验 4、5 组的水分和脂肪含量显著小于对照，而蛋白质和灰份含量显著高于对照，糖原含量、比能值和对照无显著差异。表明饥饿 1~4 d 后循环投喂可以使太平洋鲑鱼背肌生化组成恢复正常，而饥饿 8~16 d 的鱼背肌生化组成则不能恢复正常。

表 3 实验各组太平洋鲑鱼背肌水份、脂肪、蛋白质、糖原与灰份质量分数与比能值¹⁾

Tah 3 The content of water, lipid, protein, ash and energy in back muscle on fish

组别	w(背肌水份)/%	w(背肌脂肪)/%	w(背肌蛋白质)/%	w(背肌糖原)/%	w(背肌灰份)/%	背肌比能值
对照组	71.84±0.31 ^a	6.13±0.21 ^a	19.71±0.22 ^a	1.01±0.12	1.41±0.06 ^a	7.08±0.33
实验 1 组	72.74±0.28 ^b	5.82±0.10 ^a	19.61±0.18 ^a	1.09±0.09	1.41±0.07 ^a	6.96±0.24
实验 2 组	72.18±0.33 ^{ab}	5.39±0.11 ^b	19.67±0.11 ^a	0.88±0.18	1.39±0.04 ^a	6.54±0.23
实验 3 组	72.29±0.39 ^{ab}	5.79±0.13 ^a	19.15±0.17 ^{ab}	1.01±0.14	1.39±0.07 ^a	6.81±0.18
实验 4 组	71.70±0.21 ^b	4.36±0.08 ^c	20.98±0.15 ^c	0.95±0.11	1.53±0.09 ^b	6.68±0.19
实验 5 组	71.59±0.34 ^b	4.58±0.10 ^c	21.37±0.26 ^c	0.94±0.16	1.48±0.10 ^b	6.86±0.31

1) 同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异 ($P<0.05$)

2.4 各试验组太平洋鲑鱼血清中甲状腺激素含量的变化

各试验组太平洋鲑鱼血清中甲状腺激素 T₃ 和 T₄ 含量见表 4。从表 4 看出, 对照组与实验各组血

清中三碘甲状腺原氨酸 T₃ 含量相近; 甲状腺激素 T₄ 含量实验 1、2、3 组极显著高于对照, 实验 4、5 组 T₄ 含量和对照无显著差异。

表 4 试验 各组 实验 各组 太平洋 鲑 鱼 血 液 生 化 指 标¹⁾

Tah 4 Biochemical index of plasma in fish

组别	对照组	实验 1 组	实验 2 组	实验 3 组	实验 4 组	实验 5 组
三碘 甲状腺 原氨酸 T ₃ /(nmol·L ⁻¹)	3.08±0.39	3.06±0.29	3.14±0.41	2.65±0.31	2.77±0.35	2.55±0.26
甲状腺 激素 T ₄ /(nmol·L ⁻¹)	13.68±1.79 ^a	30.23±3.59 ^B	32.88±4.08 ^B	28.41±3.69 ^B	13.24±2.67 ^a	14.51±1.93 ^a

1) 同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异 ($P<0.05$), 大写字母代表有极显著差异 ($P<0.01$)

3 讨 论

在养殖 64 d 期间, 淡水养殖太平洋鲑鱼饥饿 1~4 d 后再补饲相同时间, 生长速率明显加快, 鱼体增重最终能赶上在相同时间(饥饿时间+恢复喂食时间)持续喂食的鱼, 表现为完全补偿生长; 而饥饿 8~16 d 后再补饲相同时间, 其最终体质量、特定生长率、对照组极显著降低表现为不能补偿生长。

动物产生补偿生长的生理机制主要有 3 种: ①饥饿使动物代谢水平降低, 但恢复进食时, 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用于生长的能量增加, 从而提高了食物转化率, 出现补偿性生长; ②饥饿后恢复喂食时, 动物增加了食欲, 大幅度提高了摄食水平, 使动物体内进行大量的合成作用而出现补偿性生长; ③补偿生长是摄食率和食物转化率同时提高的结果^[11-14]。本实验中, 饥饿 1~4 d 循环补饲相同时间后的太平洋鲑鱼在恢复摄食期间, 表现出完全补偿生长效果, 摄食率和食物转化率都极显著高于对照, 表明其完全补偿生长效果是摄食率和食物转化率同时提高引起的。这和 Qian 等的异育银鲫实验结果相似^[14]。

1~4 d 循环补饲的太平洋鲑鱼, 最终体质量和对照组无显著性差异; 背肌生化组成和对照组相比也基本无显著性差异; 肠脂比、糖原含量与对照组太平洋鲑鱼相似, 而肥满度、肝体比、肝脏脂肪含量均显著小于对照; 甲状腺激素 T₄ 可以起促进生长的作用, 实验 1、2、3 组甲状腺激素 T₄ 含量均极显著高于对照, 这和这 3 组鱼恢复生长期间生长速度明显加快, 最终体质量恢复到对照组水平是相一致的; Gaylord 等在斑点叉尾鲷中也观察到相似的现象^[15]。饥饿 8~16 d 循环补饲的太平洋鲑鱼存活率为 100%, 但最终体质量、鱼体内脏组成、肝脏和肌肉的生化组成均恢复不到对照组水平。

以上结果表明, 与持续饲喂的太平洋鲑鱼相比, 饥饿 1~4 d 循环补饲相同时间的太平洋鲑鱼可达到相似的体增质量效果且不显著影响其存活率及健康状况, 恢复生长期间, 其摄食率和食物转化率均显著提高, 通过这种养殖模式, 可以明显降低饲料与养殖成本, 减少水质污染, 取得更好的经济效益, 值得在生产中进一步推广; 而饥饿 8~16 d 循环补饲相同时间的太平洋鲑鱼其最终体质量和食物转化率均极显著小于对照, 鱼体内脏组成、肝脏和肌肉的生化组成均恢复不到对照组水平, 故这种养殖模式在生产中不值得进一步推广。

实验结束时, 各组鱼存活率均为 100%。饥饿

参考文献:

[1] MERSMANN H J. Compensatory growth in finishing pigs after feed restriction [J] J Anim Sci, 1987, 64: 752— 764.

[2] GREEFF J C. The effect of compensatory growth on food intake, growth rate and efficiency of feed utilization in sheep [J] . South Afri J Anim Sci, 1986, 16: 162— 168.

[3] SUMMER J D, SPRATT D, ATKINSON J Z. Restricted feeding and compensatory growth for broilers [J] . Poultry Sci, 1990, 69: 1855— 1861.

[4] BILTON H T. 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.

[5] MEHNERT, WIESER W. Energetic and metabolic correlates of starvation in juvenile perch (*Perca fluviatilis*) [J] . J Fish Biol, 1994, 45: 325— 333.

[6] ZAMAL H, OLLEVIER F. Effect of feeding and lack of food on the growth, gross biochemical and fatty acid comosition of juvenile catfish [J] . J Fish Biol, 1995, 18: 195— 208.

[7] 邓利, 张波, 谢小军. 南方鲇继饥饿后的恢复生长 [J] . 水生生物学报, 1999, 23: 167— 173.

[8] 陈晓耘. 饥饿对南方鲇幼鱼血液的影响 [J] . 西南农业大学学报, 2000, 22(2): 167— 169.

[9] 康萌, 郭健, 王秀芬, 等. 当前三文鱼养殖应注意的几个突出问题 [J] . 黑龙江水产, 2002, 4: 8— 9.

[10] COMMITTEE ON ANIMAL NUTRITION. Board on Agriculture National Research Council Nutrient Requirements of Fish [M] . Washington DC: National Academy Press, 1993: 71.

[11] WEATHERLEY A H, Gill H S. Recovery growth following periods of restricted rations and starvation in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson[J] . J Fish Biol, 1981, 18: 195— 208.

[12] DOBSON S H, HOLMES R M. Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson [J] . J Fish Biol, 1984, 25: 649— 656.

[13] MIGLAVS I, JOBLING M. Effects of feeding regime on food consumption, growth rates and tissue nucleic acid in juvenile *Arctic charr*, *Salvelinus alpinus* with particular respect to compensatory growth [J] . J Fish Biol, 1989, 34: 947— 957.

[14] 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.

[15] GAYLORD T, MACKENZIE D, GAILIN D. Growth performance, body composition and plasma thyroid hormone status of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) in response to short-term feed deprivation and refeeding [J] . Fish Physiol & Biochem, 2001, 24: 73— 79.

Recovery Growth in Pacific Salmon (*Oncorhynchus* spp.) Following Starvation

FENG Jian¹, LI Cheng qiong¹, LIANG Gui ying¹, CHEN Zhi wei²
(1. Institute of Aquatic Animal, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Huaxing Feed Ltd, Guangdong, Shunde 528231, China)

Abstract: A recovery growth experiment on Pacific Salmon (*Oncorhynchus* spp.) was conducted to determine the effects of growth following starvation in freshwater. During a 64 d period, Pacific Salmon (initial weight ca. 240 g) were divided into 6 experimental groups maintained at (15.5±3.7) °C: Control group (satiation for 64 d); group 1 (starvation 1 d + satiation 1 d); group 2 (starvation 2 d + satiation 2 d); group 3 (starvation 4 d + satiation 4 d); group 4 (starvation 8 d + satiation 8 d); group 5 (starvation 16 d + satiation 16 d). The present study showed that: Starvation for 1 to 4d could result in full compensatory growth, whereas derivation of food for 8 to 16d could not lead to compensatory growth. Compensatory growth arose from the improvements of both the feeding rate and the feed conversion ratio.

Key words: *Oncorhynchus* spp.; starvation; recovery growth; nutrition