

淡水养殖太平洋鲑循环饥饿后补偿性生长效果研究

冯 健 覃志彪

(广西大学动物科技学院, 广西南宁 530005)

摘要:用 16.1%脂肪, 38.1%蛋白质含量日粮饲养 108 尾初始重约为 240g 的太平洋鲑 (*Oncorhynchus* spp.) 于 0.25m³ 的水族箱中 64d, 水温为 15.5 ± 3.7 °。实验分 6 组, 分别为对照组(每天投喂), 实验 1 组(隔天投喂), 实验 2 组(隔 2 天投喂 2 天), 实验 3 组(隔 4 天投喂 4 天), 实验 4 组(隔 8 天投喂 8 天), 实验 5 组(隔 16 天投喂 16 天)。每组设 3 个平行水族箱, 每箱 6 尾鱼。研究淡水养殖太平洋鲑多重周期饥饿后补偿性生长效果。实验结果表明: (1) 各试验组太平洋鲑成活率均为 100%。实验 1、2、3 组太平洋鲑鱼体增重接近对照组, 其恢复摄食期间特定生长率、摄食率、食物转化率均显著或极显著高于对照组 ($P < 0.05$ 或 0.01)。而实验 4、5 组鱼恢复摄食期间虽摄食率极显著高于对照组 ($P < 0.01$), 但其鱼体增重、特定生长率、食物转化率均极显著低于对照组 ($P < 0.01$); (2) 实验各组鱼肥满度、肝体比、肝脏脂肪和糖原含量、肌肉中脂肪含量较对照组均有不同程度下降, 肝脏脂肪中总饱和脂肪酸比例上升, 而总多不饱和脂肪酸比例下降; (3) 实验 1、2、3 组血浆中甘油三酯、胆固醇和低密度脂蛋白显著低于对照组, 而葡萄糖、血清中甲状腺激素 T₄ 浓度显著高于对照组 ($P < 0.05$)。实验结果表明, 初重约 240g 太平洋鲑饥饿 1—4d, 再循环投喂相同时间 64d 后, 获得了接近完全补偿生长效果, 表现为其恢复摄食期间摄食率和食物转化率明显上升, 生长速率明显加快, 饲料报酬明显提高, 鱼体增重接近持续喂食的对照组, 养殖效益明显提高。但饥饿 8—16d 再循环投喂相同时间后, 表现为无补偿生长效应, 食物转化率和生长速率明显下降, 鱼体增重极显著低于持续喂鱼的对照组。

关键词:太平洋鲑; 饥饿; 补偿生长; 多重周期; 营养

中图分类号: S963 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2006)05-0508-07

由于气温与环境条件变化, 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, 在恢复生长中普遍出现超正常生长速度的补偿生长现象^[1]。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, 其原因是相对畜禽的生理特点和饲养模式, 鱼类具有更强的饥饿后补偿生长效应^[2]。在鱼类养殖过程中, 深入研究其效果和机理, 建立新的养殖模式, 以取得更好的经济效益, 同时对保护养殖水环境也具有重要意义。我国是世界主要淡水养殖鱼类地区, 在淡水养殖鱼类中减少水质污染和提高养殖效益受到水产养殖业界普遍关注, 但目前对大多数淡水养殖鱼类循环饥饿后补偿性生长效果研究尚缺乏深入的系统报道^[3-4]。

太平洋鲑是世界范围内三种广泛养殖, 具有较高营养价值与商品价值的鱼类之一。但该鱼属于典型的冷水鱼类, 一般在近海海水中养殖, 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。但该鱼在内陆部分水温较低的湖泊、水库与江河中已经形成规模化人工养殖。在淡水养殖模式下, 太平洋鲑是否具有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

实验鱼分 5 组, 分别为对照组(每天投喂), 实验 1 组(隔天投喂), 实验 2 组(隔 2 天投喂 2 天), 实验 3 组(隔 4 天投喂 4 天), 实验 4 组(隔 8 天投喂 8 天), 实验 5 组(隔 16 天投喂 16 天)。试验日粮组成和其营养标准参照 NRC1993 年版^[5]。由 30.0% 鱼

收稿日期: 2004-09-02; 修订日期: 2006-03-10

基金项目: 广东省自然科学基金(347)资助

作者简介: 冯健(1958—), 四川成都, 德国慕尼黑大学博士(VMD), 教授。Email: fengjian08@163.com

粉、23.5 % 玉米蛋白粉、9.0 % 豆粕、19.0 % 面粉、11.5 % 鱼油、3.0 % 沸石粉、2.0 % 褐藻酸钠、1.0 % 复合矿物盐、1.0 % 复合维生素组成。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 15867 kJ/kg。饲料原料经粉碎过 40 目筛, 用双螺杆制粒机制成直径为 2 mm 的颗粒, 置于 - 20 ℃ 冰箱中备用。

1.2 饲养管理

实验太平洋鲑由广东顺德华星饲料有限公司阳山实验鱼场提供。试验鱼平均初始体重为 240 g 左右, 在 0.25 m³ 的水族箱中暂养 7 d 后 (暂养期间按 1 % 体重投喂) 开始正式实验, 每个水族箱中放养 6 尾。每组设三个平行重复水族箱, 每天投喂二次, 分别为 9:00 和 16:00, 投饲量按投饵量减去残饵 (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, 人工光照 14 h, 水温 16.0 ± 2.9 ℃。其水质条件为溶解氧 8.10 ± 0.20 mg/L, pH 7.1 ± 0.1, 氨氮 0.2 ± 0.02 mg/L, 总硬度 1.51 ± 0.16, 钙含量 25.8 ± 0.2 mg/L, 亚硝酸盐 0.101 ± 0.07 mg/L, 硝酸盐 0.110 ± 0.014 mg/L。

1.3 样品采集和分析

实验结束后称取各水族箱鱼重, 每个水族箱取 2 尾鱼, 每个试验组共取 6 尾鱼。分别称重, 测量其体长和全长, 计算肥满度, 取内脏称重计算内脏/ 躯体比, 取肝脏称重计算肝/ 躯体比, 剥离肠脂称重计算肠脂/ 躯体比, 取血浆、肝脏、肠脂、背肌样品急冻低温冷冻保存。另取其同一部位肌肉烘干, 测其蛋白、脂肪、灰份含量。各样品中的蛋白用微量凯氏定氮法测定, 灰份用干法灰化法, 肝脏、肠脂、肌肉和饲料脂肪含量测定采用甲缩醛- 甲醇法。脂肪酸测定采用甲醇钠直接酯化法制备脂肪酸甲酯混合物, 并加入十七酸甲酯作为内标物进行气相色谱法分析。

使用日立 7170 自动生化测定仪和 VITROS 750 × RC 临床诊断仪测定血清、血浆中多项生化指标, 其方法参考日立血生化分析指南。每个水族箱取 2 尾鱼, 每个试验组共取 6 尾鱼的肝、肾、背肌、肠、心、脑、脾、鳃组织固定于福尔马林缓冲溶液中, 石蜡固定, 切片 4 μm, 用 H. E 染色法染色观察。

各试验组间数据统计分析采用 SPSS 11.5 数据统计包对实验结果进行统计分析, 先进行方差齐性分析, 方差齐性则运用 LSD 法进行单因素方差多重比较, 方差非齐性则采用 Tamhane's T2 法进行单因素方差分析, 显著水平采用 0.05。

2 结果

2.1 试验各组太平洋鲑的存活率、特定生长率、摄食率和食物转化率

试验各组鱼实验期存活率均为 100 %, 游泳迅速, 健康状态良好, 对外界刺激反应敏感。各试验组鱼不同生长阶段和整个试验阶段的特定生长率、摄食率和食物转化效率见表 1。表 1 表明, 相对增重率以对照组最高, 但与实验 1、2、3 组无明显差异, 实验 4、5 组显著低于前 4 组。实验 1、2、3 组鱼恢复生长时, 其特定生长率极显著高于对照组 ($P < 0.01$), 而实验 4、5 组低于对照组。实验各组鱼摄食率均高于对照组, 除实验 3 组外, 与对照组有显著差异 ($P < 0.05$)。实验 2、3 组鱼食物转化率显著或极显著高于对照组 ($P < 0.05$ 或 0.01), 而实验 4、5 组极显著低于对照组 ($P < 0.01$)。实验表明, 饥饿 1—16 d 后补偿生长期鱼较对照组鱼其摄食率均有明显上升, 饥饿 1—4 d 后补偿生长期鱼特定生长率和食物转化率较对照组鱼明显上升, 其相对增重率接近对照组; 但饥饿 8—16 d 后补偿生长期鱼特定生长率、食物转化率和相对增重率较对照组鱼明显下降。

表 1 试验各组鱼的特定生长率 (SGR)、摄食率 (FR)、食物转化率 (FE)
Tab. 1 The specific growth rate (SGR), feeding rate (FR) and feed efficiency (FE) * in fish

组别	初均重	末均重	特定生长率	摄食物	食物转化率
Group	Initial mean weight (g)	Final mean weight (g)	SGR (%)	FR (%)	FE (%)
对照组	242.1 ± 9.7	498.9 ± 27.4	1.13 ± 0.23 ^A	1.07 ± 0.26 ^a	50.25 ± 2.15 ^{Aa}
Control group					
实验 1 组	242.7 ± 10.2	486.9 ± 31.5	2.18 ± 0.31 ^B	1.86 ± 0.16 ^b	56.18 ± 2.05 ^{Aa}
Test group 1					
实验 2 组	244.4 ± 6.8	489.5 ± 34.1	2.17 ± 0.24 ^B	1.63 ± 0.14 ^b	63.69 ± 2.18 ^{Bb}
Test group 2					
实验 3 组	238.0 ± 9.8	484.7 ± 37.5	2.22 ± 0.46 ^B	1.33 ± 0.11 ^a	80.00 ± 3.03 ^B
Test group 3					

续表

组别	初均重	末均重	特定生长率	摄食物	食物转化率
Group	Initial mean weight (g)	Final mean weight (g)	SGR(%)	FR(%)	FE(%)
实验 4 组	242.0 ±11.2	314.6 ±20.3	0.82 ±0.10 ^A	1.78 ±0.51 ^b	22.88 ±0.81 ^C
Test group 4					
实验 5 组	242.4 ±10.5	317.2 ±19.6	0.84 ±0.11 ^A	2.06 ±0.49 ^b	20.33 ±0.77 ^C
Test group 5					

* 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 ($P < 0.01$)。

特定生长率 (SGR) = $100 \times (\ln w_2 - \ln w_1) / t$;摄食率 (FR) = $100 \times C / [t \times (w_1 + w_2) / 2]$;食物转化率 (FE) = $100 \times (w_2 - w_1) / C$ 。其中 w_1 代表各组鱼的初均重, w_2 代表各组鱼的末均重, t 代表摄食时间, C 是每一阶段的总摄食量。

* :Values with different superscript small letters within same column indicate significantly difference ($P < 0.05$);values with different superscript capital letters within same column indicate significantly highly difference ($P < 0.01$)。

Specific growth rate (RGR) % = $100 \times (\ln w_2 - \ln w_1) / t$,feeding rate (FR) = $100 \times C / [t \times (w_1 + w_2) / 2]$,feed efficiency (FE) = $100 \times (w_2 - w_1) / C$. w_1 = initial mean weight of fish in each experimental group, w_2 = final mean weight of fish in each experimental group, t = feeding day of fish in each experimental group, C = total eating amount of feed of fish in each experimental group.

2.2 试验各组太平洋鲑的肥满度、肠脂比、肝体比、肝脏脂肪、糖原含量

试验各组太平洋鲑的肥满度、肠脂比、肝体比、肝脏脂肪、糖原含量见表 2。从表 2 可以看出,对照组鱼肥满度、肝体比最高,且与实验各组有显著性差异 ($P < 0.05$)。实验各组与对照组太平洋

鲑鱼肠脂比相似;肝脏脂肪含量显著性高于实验 3、4、5 组 ($P < 0.05$)。对照组肝脏糖原含量极显著高于实验 4、5 组 ($P < 0.01$)。实验表明,饥饿 1—16d 后补偿性生长的太平洋鲑较对照组鱼肥满度、肝体比与肝脏脂肪、糖原含量均有不同程度下降趋势。

表 2 试验各组鱼的肥满度、肠脂比、肝体比与肝脏脂肪、糖原含量 *

Tab. 2 The condition factor (CF), ratio of fat in mesentery/ body (RFMB), liver/ body (RLB), content of lipid in liver (CLL) and glycogen in liver (CGL) of fish *

组别	肥满度	肠脂比	肝体比	肝脂肪含量	肝糖原含量
Group	DG	RFMB	RLB	CLL (%)	CGL (%)
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
Control group					
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
Test group 1					
实验 2 组	1.76 ±0.19 ^b	3.02 ±0.33	0.83 ±0.12 ^{bc}	7.93 ±1.11 ^{ab}	13.89 ±1.58 ^A
Test group 2					
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
Test group 3					
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
Test group 4					
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
Exp. Group 5					

* 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 ($P < 0.01$)。

* :Values with different superscript small letters within same column indicate significantly difference ($P < 0.05$),Values with different superscript capital letters within same column indicate significantly highly difference ($P < 0.01$)。

2.3 试验各组太平洋鲑的肌肉中水分、脂肪、蛋白质、糖原、灰份含量

试验各组太平洋鲑肌肉中水分、脂肪、蛋白质、糖

原、灰份含量见表 3。从表 3 可以看出,对照组与实验各组鱼肌肉中水分、蛋白质、糖原、灰份糖原含量相似,但脂肪含量较高。实验表明,饥饿 1—16d 后补偿

性生长的太平洋鲑鱼较对照组鱼肌肉中脂肪含量均 有不同程度下降趋势 ,并随着饥饿时间增加而明显。

表 3 试验各组鱼肌肉中水份、脂肪、蛋白质、糖原与灰份含量(%) *
Tab.3 The contents of water ,lipid , protein , ash (%) in muscle on fish *

组别	水份	脂肪	蛋白质	糖原	灰份
Group	Water	Lipid	Protein	Glycogen	Ash
对照组	71.84 ±0.31 ^a	6.13 ±0.21 ^a	19.71 ±0.22 ^a	1.01 ±0.12	1.41 ±0.02 ^a
Control group					
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 ±0.03 ^a
Test group 1					
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 ±0.03 ^a
Test group 2					
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 ±0.02 ^a
Test group 3					
实验 4 组	71.70 ±0.21 ^a	4.36 ±0.08 ^c	20.98 ±0.15 ^c	0.95 ±0.11	1.53 ±0.04 ^b
Test group 4					
实验 5 组	71.59 ±0.34 ^a	4.58 ±0.10 ^c	21.37 ±0.26 ^c	0.94 ±0.16	1.48 ±0.03 ^b
Test group 5					

*同表 2 ;The same as table 2.

2.4 试验各组太平洋鲑的肝脏脂肪中脂肪酸比例

试验各组太平洋鲑的肝脏脂肪中总饱和脂肪酸、总单不饱和脂肪酸、总多不饱和脂肪酸比例见表 4。从表 4 可以看出 ,对照组与实验各组太平洋鲑肝脏脂肪中总单不饱和脂肪酸组成相似 ,无显著性差异

($P > 0.05$) ;但总饱和脂肪酸比例对照组最低 ,与实验 4、5 组有显著性差异 ($P < 0.05$) ;总多不饱和脂肪酸比例显著性高于实验 3、4、5 组 ($P < 0.05$) 。实验表明 ,随着饥饿时间的增加 ,补偿生长太平洋鲑的肝脏脂肪中总饱和脂肪酸比例上升 ,而总多不饱和脂肪酸比例下降。

表 4 实验各组鱼的肝脏脂肪中脂肪酸比例 *
Tab.4 The ratio of fatty acids in lipid of liver in fish *

组别	总饱和脂	总单不饱和	总多不饱和
Group	肪酸 Σ SFA	脂肪酸 Σ MUFA	脂肪酸 Σ PUFA
对照组	28.9 ±3.6 ^a	28.4 ±3.1	41.7 ±3.9 ^a
Control group			
实验 1 组	30.7 ±4.5 ^a	27.2 ±3.5	40.4 ±4.2 ^a
Test group 1			
实验 2 组	28.5 ±3.1 ^a	31.3 ±3.4	39.1 ±3.5 ^a
Test group 2			
实验 3 组	30.8 ±3.7 ^a	31.6 ±3.8	33.3 ±2.8 ^b
Test group 3			
实验 4 组	36.4 ±4.0 ^b	30.4 ±3.6	31.9 ±3.6 ^b
Test group 4			
实验 5 组	40.6 ±4.4 ^b	27.1 ±3.3	31.0 ±1.9 ^b
Test group 5			

*同表 2 ;The same as table 2.

2.5 试验各组太平洋鲑血浆、血清中甲状腺激素生化指标的变化

试验各组太平洋鲑血浆中脂肪分解酶、谷草转氨酶、胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白、白蛋白和葡萄糖,血清中甲状腺激素 T₃ 和 T₄ 指标见表 5。从表 5 可以看出,对照组与实验各组脂肪分解

酶、高密度脂蛋白与白蛋白含量相似;实验 1、2、3 组血浆中甘油三酯、胆固醇和低密度脂蛋白显著低于对照组,而葡萄糖、血清中甲状腺激素 T₄ 浓度显著高于对照组($P < 0.05$)。实验表明,饥饿 1—4d 后补偿性生长太平洋鲑较对照组鱼肝功能升高,糖代谢上升,机体蛋白质合成能力增强,脂肪沉积减少。

表 5 试验各组鱼血浆、血清的生化指标 *
Tab.5 Biochemical index of plasma or serum in fish *

组别 Group	对照组 Control group	实验 1 组 Test group 1	实验 2 组 Test group 2	实验 3 组 Test group 3	实验 4 组 Test group 4	实验 5 组 Test group 5
脂肪分解酶 U/L	116 ±26	125 ±33	105 ±19	133 ±28	110 ±24	117 ±25
LIPA U/L						
谷草转氨酶 U/L	129 ±41 ^a	129 ±32 ^a	287 ±87 ^b	302 ±97 ^b	325 ±145 ^b	343 ±139 ^b
AST U/L						
甘油三酯 nmol/L	5.30 ±1.04 ^a	1.91 ±0.34 ^B	2.04 ±0.46 ^B	1.61 ±0.20 ^B	1.91 ±0.34 ^B	1.53 ±0.36 ^B
TG nmol/L						
胆固醇 nmol/L	9.50 ±1.41 ^a	6.88 ±1.11 ^b	8.13 ±1.09 ^{ab}	6.75 ±0.98 ^b	6.88 ±1.23 ^b	9.38 ±1.38 ^a
CHOL nmol/L						
高密度脂蛋白 g/L	1.97 ±0.11	2.08 ±0.33	2.52 ±0.47	2.19 ±0.14	2.08 ±0.24	2.43 ±0.37
HDL-C g/L						
低密度脂蛋白 g/L	1.36 ±0.28 ^a	0.86 ±0.10 ^b	0.97 ±0.08 ^b	0.74 ±0.11 ^b	0.86 ±0.12 ^b	1.32 ±0.22 ^a
LDL-C g/L						
白蛋白 g/L	15.00 ±2.28	12.33 ±2.16	13.83 ±1.89	13.50 ±2.63	13.00 ±1.78	14.17 ±2.54
ALB g/L						
葡萄糖 g/L	4.03 ±0.48 ^a	7.50 ±1.24 ^{bc}	8.40 ±1.33 ^b	8.33 ±1.54 ^b	5.82 ±0.94 ^c	5.48 ±0.75 ^c
GLU g/L						
甲状腺激素 T3nmol/L	3.08 ±0.39	3.06 ±0.29	3.14 ±0.41	2.65 ±0.31	2.77 ±0.35	2.55 ±0.26
T3nmol/L						
甲状腺激素 T4nmol/L	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
T4nmol/L						

*同表 2;The same as table 2.

2.6 试验各组太平洋鲑解剖组织学变化

实验结束时解剖可见,试验各组太平洋鲑眼观无大体病变。切片观察试验各组鱼肝、肾、背肌、肠、心、脑、脾、鳃组织,未观察到有异常病理变化。

3 讨论

3.1 本研究旨在了解饥饿处理不同时间后补饲对淡水养殖太平洋鲑鱼恢复性生长的影响。实验考察了饥饿处理对淡水养殖太平洋鲑鱼恢复性生长的影响,对饥饿处理组实验鱼进行了“饥饿-喂食-再饥饿-再喂食-……”的重复处理,各处理组实验鱼的“饥饿+喂食”总持续时间相等,对照组持续喂食时间为各饥饿实验组的一倍。根据动物补偿

生长定义,饥饿处理后恢复摄食的动物若最终体重超过了持续喂食的对照组,则称为超完全补偿生长,若最终体重赶上了持续喂食的对照组,则称为完全补偿生长,若最终体重赶不上持续喂食的对照组,但恢复生长期的生长速度超过或达到了对照组水平,即发生了部分补偿生长,若恢复生长期的生长速度都不能达到对照组水平,即不能补偿生长^[6]。实验表明,在淡水养殖 64d 期间,初始重约为 240g 太平洋鲑鱼饥饿 1—16d 后再补饲相同时间时,实验各组鱼恢复摄食期间的摄食率明显高于对照组。饥饿 1—4d 后,其鱼体增重接近对照组,恢复摄食期间其特定生长率和食物的转化率明显高于对照组,但饥饿 8—16d 后,其鱼体增重

明显低于对照组,恢复摄食期间其特定生长率和食物的转化率明显低于对照组。从生长率补偿量看,淡水养殖太平洋鲑鱼饥饿 1—4d 补饲相同时间后可基本达到完全补偿生长效应,而饥饿 8—16d 补饲相同时间后,表现为不能补偿生长效应。因此,我们认为,淡水养殖初始重约为 240g 太平洋鲑鱼饥饿 1—4d 补饲相同时间后,发生了完全补偿生长现象,通过这样的养殖模式,可以降低生产成本与减少水质污染,明显提高养殖效益。其结果与有关学者在对美国红鱼、大西洋鲑、太阳鱼饥饿补偿生长实验结果相似^[7-8]。同时本试验表明,淡水养殖太平洋鲑鱼饥饿后 8—16d 补偿生长能力明显下降,表现为无补偿生长现象。证明其补偿生长效应与饥饿时间存在一定的相关关系,即饥饿 1—4d 后,恢复摄食期间其补偿生长效应明显,而饥饿 8 天后,恢复摄食期间无补偿生长效应。

3.2 目前关于鱼类补偿生长生理机制主要有三种观点: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,如美国红鱼、虹鳟和大西洋鲑^[7,8];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,如罗非鱼、北极红点鲑、斑点叉尾、南方鲇和杂交翻车鱼等^[3,9-11];3. 补偿生长效果是摄食率和食物转化率同时提高的结果,如异育银鲫^[12]。从实验结果看,较持续进食对照组,当太平洋鲑鱼饥饿 1d 饲喂 1d、饥饿 2d 饲喂 2d 与饥饿 4d 饲喂 4d 时,其摄食率和食物转化率同时明显上升,其补偿生长的生理机制与第 3 种观点相似。但饥饿 2d 饲喂 2d 与饥饿 4d 饲喂 4d 较饥饿 1d 饲喂 1d 时摄食率逐步下降,而食物转化率逐步上升,血清中甲状腺素 T_4 浓度、血糖含量明显上升,肌肉与肝脏中脂肪含量下降,肝脏脂肪中总单不饱和脂肪酸比例上升,表明机体蛋白质合成和糖代谢升高,机体脂肪沉积减少。所以太平洋鲑鱼饥饿 1d 饲喂 1d 后,主要通过提高摄食率达到完全补偿生长效果,而饥饿 2d 饲喂 2d 与饥饿 4d 饲喂 4d 后,逐步转变为主要通过提高食物转化率达到完全补偿生长效果。饥饿 8d 饲喂 8d 与饥饿 16d 饲喂 16d 时,其摄食量也有所上升,但生长率、食物的转化率较持续进食对照组鱼明显下降,表现出无补偿生长效果,其原因

似乎是,随太平洋鲑鱼饥饿与补食时间延长,其机体代谢水平和蛋白合成能力下降所致,这血清中甲状腺素 T_4 浓度、血浆中血糖、肝脏中糖原含量明显下降得到证实,在一些文献中也有相似的结果报道^[9,13]。所以,太平洋鲑鱼饥饿后补偿生长效果及机理与饥饿时间有密切关系。

参考文献:

- [1] Summer J D, Spratt D, Atkinson J Z. Restricted feeding and compensatory growth for broilers [J]. *Poultry Sci.*, 1990, **69**:1855—1861
- [2] Mehner T, Wieser W. Energetic and metabolic correlates of starvation in juvenile perch (*Perca fluviatilis*) [J]. *J Fish Biol*, 1994, **45**: 325—333
- [3] Deng L, Chang B, Xie XJ. The recovery growth in the Southern Catfish (*Silurus meridionalis*) following starvation. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, **23**(3):167—173[邓利,张波,谢小军. 南方鲇继饥饿后的恢复生长. 水生生物学报, 1999, **23**(3):167—173]
- [4] Chen X Y. Effects of starvation on the blood of Southern Catfish (*Silurus meridionalis*) [J]. *J. Southwest Agricultural University*, 2000, **22**(2):167—171[陈晓耘. 饥饿对南方鲇幼鱼血液的影响. 西南农业大学学报, 2000, **22**(2):167—171]
- [5] Committee on Animal Nutrition Board on Agriculture National Research Council Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press [M]. Washington, D. C. 1993:71
- [6] Summer J D, Spratt D, Atkinson J Z. Restricted feeding and compensatory growth for broilers[J]. *Poultry Sci*, 1990, **69**:1855—1861
- [7] Jiang Zhiqing, Jia Zemei, Han Yanbo. The compensatory and its mechanism of red drum (*Sciaenops ocellatus*) after food deprivation [J]. *J. Fisheries of China*, 2002, **26**(1):67—72[姜志强,贾泽梅,韩延波. 美国红鱼继饥饿后的补偿生长及其机制. 水产学报, 2002, **26**(1):67—72]
- [8] Xie XJ. Advances and studies on ecophysiological effects of starvation on fish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1998, **22**(2):181—188[谢小军等. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展. 水生生物学报, 1998, **22**(2):181—188]
- [9] Kim M K, Lovell R T. Effect of restricted feeding regimens on compensatory weight gain and tissue changes in channel catfish, *Ictalurus punctatus* in ponds[J]. *Aquaculture*, 1995, **135**:285—293
- [10] Wang Y, Cui Y B, Yang Y X. Compensatory growth in hybrid tilapia *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*, reared in seawater [J]. *Aquaculture*, 2000, **189**:101—108
- [11] Hayward Robert. Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates[J]. *Transactions of the American Fisheries society*, 1997, **126**(2):316—322
- [12] Qian X, Cui Y, Xiong B, Yang Y. Compensatory growth, feed utilization and activity in gibel carp, following feed deprivation[J]. *J. Fish Biol*, 2000, **56**:228—232
- [13] 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

COMPENSATORY GROWTH AFTER EXPERIENCING CYCLES OF FEED DEPRIVATION AND RE-FEEDING IN PACIFIC SALMON, *ONCORHYNCHUS* SPP.

FENG Jian and QIN Zhi-Biao

(College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning 530005)

Abstract : A 64-days compensatory growth experiment in Pacific Salmon, *Oncorhynchus* spp. was conducted to determine the effects of growth following starvation in freshwater. 108 Pacific salmon (initial weight ca. 240g) were divided into 6 treatments with triplicate groups in a recirculated system at $15.5 \pm 3.7^\circ\text{C}$. The control fishes were fed continuously and the test fishes were experiencing 1 day deprivation and 1 day re-feeding, 2 days deprivation and 2 days re-feeding, or 4, 8, 16 days deprivation and 4, 8, 16 days re-feeding. The results indicated that the survival rate (SR) of fish in all groups is 100 % and the weight-gain in fish of test group 1, 2, 3 is close to fish at the control group, but fish in test group 4, 5 are significantly lower than those of the control group. The specific growth rate (SGR), feeding rate (FR), feed efficiency (FE) of fish in test group 1, 2, 3 were significantly higher than those of the control group ($P < 0.05$ or 0.01), but fish in test group 4, 5 were significantly lower than those in the control group ($P < 0.01$). The condition factor (CF) and the rate of liver/body, content of lipid and glycogen in liver, content of lipid in muscle of fish in all test groups were in different degree lower than fish in the control group. The ratio of total saturated fatty acids (ΣSFA) in lipid of liver with fish in test groups was higher and total polyunsaturated fatty acid (ΣPUFA) was lower than fish in the control group. The indexes of triglyceride (TG), cholesterol (CHOL), low density lipoprotein (LDL-C) in plasma of fish in test group 1, 2, 3 were significantly lower than those in the control group, but glucose in plasma and thyroxine T_4 in serum were significantly higher than those in the control group ($P < 0.05$). These results suggested that Pacific salmon with initial weight ca. 240g, which were deprived feed for 1, 2, 4 days and then were re-fed for same days subsequently during 64 days period, showed a positive compensatory growth through raising the feeding rate (FR) and feed efficiency (FE), but the fish which were deprived feed for 8—16 days and then were re-fed same days during the same period, showed a negative compensatory growth due to decrease of feeding rate (FR) and feed efficiency (FE).

Key words : *Oncorhynchus* spp; Starvation; Compensatory growth; Nutrition