

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2010.00541

## 饥饿对太平洋鲑生长、机体组成及血浆相关生化指标变化研究

罗 波 冯 健 蒋步国 潘燕云 庞 卫 赵华林

(广西大学水产研究所, 南宁 530004)

**摘要:** 实验研究了太平洋鲑鱼(*Oncorhynchus* spp.)经8—32d饥饿后对其生长、体组成与血浆生化指标变化的影响。90尾初始重约为217g的太平洋鲑鱼放养于0.25m<sup>3</sup>的水族箱中0—32d, 水温为(17.0±2.9)℃。实验分5组, 分别为对照组(饥饿0d)、实验1组(饥饿8d)、实验2组(饥饿16d)、实验3组(饥饿24d)、实验4组(饥饿32d)。每组3个平行, 每箱6尾鱼。结果表明: 饥饿期间, 太平洋鲑鱼存活率均为100%, 相对体重损失率与饥饿时间直线回归方程为 $y = 0.0086x (R^2 = 0.9177)$ , 呈显著的正相关( $P < 0.05$ ); 肠系膜脂肪是太平洋鲑鱼最主要的能量来源, 与饥饿时间呈显著的负相关( $P < 0.05$ ), 其直线回归方程 $y = -0.0719x \pm 4.11 (R^2 = 0.9732)$ ; 饥饿初期太平洋鲑鱼主要消耗肝脏糖原和脂肪、部分肠系膜脂肪和少许肌肉中脂肪维持生命活动, 能耗较低; 饥饿后期主要以消耗肠系膜脂肪、部分肌肉脂肪和少量蛋白质维持生命活动, 能耗较高; 血浆中脂肪分解酶和白蛋白无显著变化( $P < 0.05$ ), 胆固醇、甘油三酯和高低密度脂蛋白有显著波动( $P < 0.05$ ), 表明脂肪代谢活跃, 免疫功能未受明显影响。研究表明太平洋鲑鱼能够有效地利用体内储存的脂肪, 对饥饿的耐受能力较强。

**关键词:** 太平洋鲑鱼; 生理; 生化; 饥饿; 生长

**中图分类号:** S965.3    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-3207(2010)03-0541-06

自然界中动物因环境的改变、季节变化、食物的短缺等而时常受到饥饿的胁迫。动物饥饿一段时间后, 发现动物在恢复摄食期间普遍出现异于正常生长的生理性能<sup>[1—3]</sup>。近年来鱼类饥饿状态下生理及生化变化和饥饿后补偿生长效果研究成为鱼类营养研究上一个引人注目的领域。相对于陆生经济动物的生理特点和饲养模式, 鱼类具有独特的耐受饥饿的能力。一般认为随饥饿时间的延长, 鱼体内贮存的能量物质不断消耗, 体重逐渐下降, 机体水分比例逐渐上升。但不同种类的鱼在不同生理生长阶段, 其耐受饥饿能力, 适应性特征不同。一般认为仔、稚鱼耐受饥饿能力弱, 是早期死亡率高的重要原因, 而大规格鱼种和成鱼具有更强的耐受饥饿能力, 饥饿数周或数月后, 仍然表现出旺盛的生命力<sup>[4—12]</sup>。因为仔、稚鱼在饥饿状态下, 由于体内贮存的能量物质少, 主要依赖消耗机体蛋白质提供维持生命活动所需的能量, 体重急剧下降, 体形异常,

机体损伤明显。而大规格鱼种和成鱼在饥饿状态下, 体内贮存的能量物质多, 体重下降缓慢, 体形变化不大, 机体损伤较轻。目前国内有关鱼类饥饿状态下生理及生化变化多为对仔稚鱼研究<sup>[13—15]</sup>, 而在大规格鱼体和成鱼上较少系统报道<sup>[16]</sup>。

太平洋鲑(*Oncorhynchus* spp.)属鲑目(*Oreor Salmoniformes*)、鲑亚目(*Suborder Salmonidei*), 太平洋鲑属(*Genus Oncorhynchus*), 原产于北太平洋, 属于典型的冷水鱼类, 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鲑鱼品种之一。近年来由于国内该鱼消费量急剧上升, 在我国内陆部分水温较低水域已经基本形成规模化人工养殖。由于该鱼养殖周期长, 对水质水温要求严格, 人工养殖的太平洋鲑鱼成鱼在一定条件下, 如水温低于8或高于24℃, 溶氧低于6mg/L时, 将停止摄食而受到饥饿胁迫。深入研究饥饿对太平洋鲑大规格鱼体的影响, 揭示其在饥饿状态下的机体组成变化和体内

收稿日期: 2008-12-03; 修订日期: 2009-04-20

基金项目: 广西科技厅基金计划项目0815006-1-1资助

作者简介: 罗波(1986—), 女, 瑶族, 湖南江永人; 硕士研究生; 主要从事鱼类营养生理学研究。E-mail: 113831694@qq.com

通讯作者: 冯健(1958—), 男, 汉族, 四川成都人; 教授, 德国慕尼黑大学博士; 主要从事鱼类生理与营养学研究。E-mail: fengjian08@163.com

能量物质的利用, 对了解饥饿对大规格鱼体损害具有重要学术意义, 对我国太平洋鲑养殖也具有一定指导意义。因此, 本文对体重 217 g 左右太平洋鲑鱼在饥饿状态下的生长、机体组成和血液相关生化指标变化进行了研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验鱼分组与饲养管理

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 217 g 左右, 在 0.25 m<sup>3</sup> 的水族箱中暂养 7d 后开始正式实验, 每个水族箱中放养 6 尾, 每组设三个平行重复水族箱。暂养期间每天投喂二次, 分别为 9:00 和 16:00 投饲量为鱼体重 2%。实验鱼分 5 组, 分别为对照组(饥饿 0d)、实验 1 组(饥饿 8d)、实验 2 组(饥饿 16d)、实验 3 组(饥饿 24d)、实验 4 组(饥饿 32d)。饥饿期为 0—32d, 每天换水 1/3 并记录水温。每天定时充气 12h, 采光 12h, 水温(17.0±2.9) °C。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) mg/L, 钙含量(25.8±0.200) mg/L, 亚硝酸盐(0.10±0.07) mg/L, 硝酸盐(0.11±0.01) mg/L。

### 1.2 实验日粮

实验日粮营养标准参照 NRC1993 年版<sup>[17]</sup>, 蛋白质水平为 38.1%, 脂肪水平为 16.1%, 总糖为 24.3%, 消化能为 15.55 mJ/kg。由鱼粉、玉米蛋白粉、豆粕、面粉、鱼油、沸石粉、褐藻酸钠、复合矿物盐、复合维生素组成。其饲料原料经粉碎过 40 目筛, 用双螺杆制粒机制成直径为 4 mm 的颗粒, 置于-20°C 冰箱中备用。

### 1.3 样品采集和分析

实验各饥饿阶段结束后, 对各水族箱鱼称重, 同时每个水族箱取 2 尾, 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, 取肝脏称重计算肝脏/躯体比, 剥离肠脂称重计算肠脂/躯体比, 取血浆、肝脏、肠脂、肌肉样品急冻低温保存, 取肝、肾、肌肉、肠、心、脑、脾、鳃组织样固定于福尔马林缓冲溶液中。使用“日立”(Hitachi)7170 全自动生化分析仪测定血浆多项生化指标, 其方法参考日立血浆生化分析指南。同时分别采用 105°C 常压干燥法、微量凯氏定氮法、甲醇-氯仿抽提法、550°C 灼烧法

和 3,5-二硝基水杨酸法测定样品中水分、蛋白质、脂肪、灰分和糖原含量。各组织样本进行石蜡或丙酮固定, 切片 4—7 μm, 用 H.E 染色观察组织形态, 镍酸染色观察脂肪沉积状况, PAS 染色观察糖原分布状况。

### 1.4 统计分析

实验数据采用单因素和单因素多重比较的分析方法来检验饥饿时间对生长、体组成和血液生化指标的影响。单因素 ANOVA 检验中表现出明显的差异( $P<0.05$ ), Duncan's 重复检验被用于每个处理。实验的数据表示为均值±标准差。显著水平采用 0.05, 极显著水平采用 0.01。所有的数据用 SPSS13.0 统计软件处理。

## 2 结 果

### 2.1 实验各组太平洋鲑的存活率、相对体重损失率

饥饿期间, 试验各组太平洋鲑的存活率均为 100%。实验 3、4 组相对体重损失率最高分别为(0.26±0.06)%/d 和 (0.25±0.05)%/d, 实验 2 组(0.11±0.03)%/d, 其次, 实验 1 组(0.07±0.01)%/d 最低, 相互间差异显著或极显著( $P<0.05$  或 0.01)。相对体重损失率随时间的延长而增加, 呈显著的直线关系( $P<0.05$ ):  $y = 0.0086x$  ( $R^2 = 0.9177$ )(图 1)。实验表明, 饥饿 32d 内对太平洋鲑存活率无影响, 其相对体重损失率随着饥饿时间延长而明显增高。

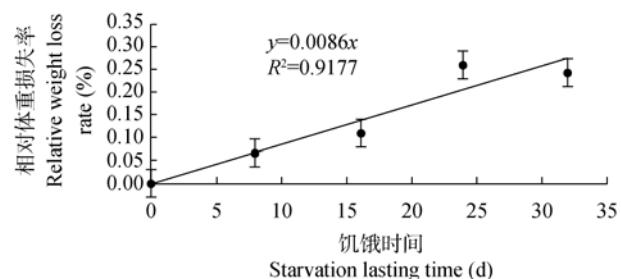


图 1 饥饿 0—32d 太平洋鲑相对体重损失率(%/d)

Fig. 1 Relative weight loss rate (%/d) of fish starved for 0—32d

### 2.2 实验各组太平洋鲑的肠脂比、肝脏脂肪和肝糖原含量

实验各组太平洋鲑的肠脂比、肝脏脂肪与肝糖原含量(表 1)。对照组的肠脂比显著高于实验 2 组和实验 3 组( $P<0.05$ ), 极显著高于实验 4 组( $P<0.01$ ), 实验 1—3 组又显著高于实验 4 组( $P<0.05$ )。肠脂比与饥饿时间呈明显的关系, 与饥饿时间呈显著的负相关( $P<0.05$ ), 其直线回归方程为:  $y = -0.0719x$

$\pm 4.11 (R^2 = 0.9732)$ 。饥饿 8d 后, 肝脂肪含量和糖原随饥饿时间延长呈下降趋势, 对照组显著和极显著高于饥饿组, 但除饥饿 8d 组肝糖原外, 饥饿组之间差异不显著( $P > 0.05$ )。实验表明, 太平洋鲑饥饿 8d 后肝脏脂肪与肝糖原含量明显下降, 而肠脂比有所下降, 但差异不显著; 随着饥饿时间延长, 肠脂比较对照组显著或极显著下降, 但是肝脂肪和糖原含量相对稳定。

### 2.3 实验各组太平洋鲑的肌肉脂肪和蛋白质含量

实验各组太平洋鲑肌肉脂肪和蛋白质(图 2)。肌

肉中脂肪含量随饥饿时间延长而显著降低, 对照组肌肉中脂肪含量( $6.13 \pm 0.16$ )%最高, 显著高于实验 2 组( $5.45 \pm 0.38$ )%、3 组( $5.09 \pm 0.12$ )%和 4 组( $4.21 \pm 0.07$ )%( $P < 0.05$ ), 而实验 2、3 组显著高于实验 4 组( $P < 0.05$ ); 肌肉中蛋白质含量[( $19.71 \pm 0.34$ )%—( $19.34 \pm 0.21$ )%]随饥饿时间呈轻度下降趋势, 但太平洋鲑鱼饥饿 32d 后各试验组肌肉蛋白质含量变化不显著( $P > 0.05$ ); 实验表明, 随着饥饿时间的延长, 太平洋鲑肌肉中脂肪含量逐步下降, 而蛋白质含量下降缓慢。

表 1 试验各组太平洋鲑鱼的肠脂比、肝脏脂肪和糖原含量

Tab. 1 The fat in mesentery/body (FMB), content of lipid in (CLL) and glycogen in liver (CGL) in fish (%)

组别 Group	肠脂指数 FMB	肝脂肪含量 CLL	肝糖原含量 CGL
对照组 Control group	$4.17 \pm 0.10^{\text{aA}}$	$15.09 \pm 2.14^{\text{a}}$	$9.08 \pm 2.41^{\text{A}}$
实验 1 组 Exp. Group 1	$3.60 \pm 0.57^{\text{aAB}}$	$9.50 \pm 1.45^{\text{b}}$	$3.71 \pm 0.48^{\text{Bb}}$
实验 2 组 Exp. Group 2	$2.76 \pm 0.31^{\text{bAB}}$	$8.84 \pm 0.98^{\text{b}}$	$2.74 \pm 0.19^{\text{Bc}}$
实验 3 组 Exp. Group 3	$2.59 \pm 0.39^{\text{bAB}}$	$8.26 \pm 1.12^{\text{b}}$	$2.73 \pm 0.22^{\text{Bc}}$
实验 4 组 Exp. Group 4	$1.74 \pm 0.40^{\text{cB}}$	$8.54 \pm 1.38^{\text{b}}$	$2.43 \pm 0.38^{\text{Bc}}$

注: 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( $P < 0.01$ ); 下同

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

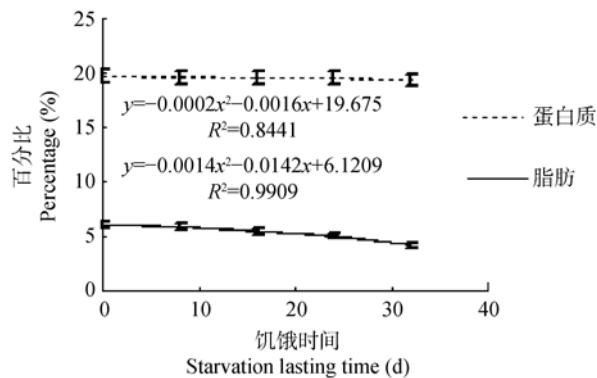


图 2 饥饿 0—32d 太平洋鲑肌肉中脂肪和蛋白质含量

Fig. 2 The contents of lipid and protein (%) in muscle of fish starved for 0—32d

### 2.4 实验各组太平洋鲑血浆中生化指标的变化

实验各组太平洋鲑鱼血浆中脂肪分解酶、谷草转氨酶、胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白、高/低密度脂蛋白比、白蛋白和葡萄糖指标(表 2)。血浆中脂肪分解酶、谷草转氨酶与白蛋白含量对照组与试验组差异不显著( $P > 0.05$ ), 但对照组的甘油三酯和低密度脂蛋白高于试验各组, 高密度脂蛋白和葡萄糖却低于试验各组; 胆固醇明显低于试验 2、3、4 组, 高于实验 1 组。实验表明, 饥饿 8—32d, 血浆中脂肪分解酶在各实验组中呈下降的

趋势, 谷草转氨酶含量和胆固醇上升后逐步下降, 胆固醇和高密度脂蛋白含量在饥饿 16—24d 后明显上升, 白蛋白含量趋于稳定。

### 2.5 实验各组太平洋鲑解剖与组织学变化

实验各组太平洋鲑剖解观察未见明显病变。对照组与各组实验鱼肝、肾、肌肉、肠、心、脑、脾、鳃组织切片未见病理学异常变化。

## 3 讨 论

### 3.1 饥饿对试验太平洋鲑鱼的损害

本试验结果表明, 217 g 左右的太平洋鲑鱼饥饿 8—32d, 无死亡损失, 其健康状况与对照组无明显差异。饥饿 32d 后体重较对照组下降 7.50%, 与约 74 g 南方鮰(*Silurus meridionalis*)饥饿 60d, 286 g 鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)饥饿 9 周的体重损失率相似<sup>[13,16]</sup>; 与 8.25 g 美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)饥饿 15d 后体重下降高达 18.80%, 30—50 g 真鲷(*Pagrosomus major*)饥饿 15d 后体重下降 7.05%<sup>[14,15]</sup>, 和南方鮰饥饿 30d 体重下降 14.30%相比, 太平洋鲑鱼在饥饿期间体重下降幅度较小<sup>[13]</sup>。一般认为早期生活史是鱼类最脆弱、最关键的阶段, 当仔鱼前期的卵黄被耗尽时, 需要在短期内转向外界摄食, 如果

表 2 实验各组太平洋鲑血浆的生化指标  
Tab. 2 Biochemical indecis of plasma in fish

组别 Group	对照组 Control group	饥饿 8d 组 Test group 1	试验 2 组 Test group 2	试验 3 组 Test group 3	饥饿 32d Test group 4
脂肪分解酶 LIPA (U/L)	138±46	166±35	145±54	124±37	113±31
谷草转氨酶 AST (U/L)	282±67	305±62	364±89	376±78	282±61
甘油三酯 TG (nmol/L)	3.33±0.45 <sup>a</sup>	1.88±0.24 <sup>b</sup>	3.08±0.38 <sup>a</sup>	1.85±0.29 <sup>b</sup>	2.17±0.36 <sup>b</sup>
胆固醇 CHOL (nmol/L)	6.69±1.02 <sup>a</sup>	6.32±1.15 <sup>a</sup>	9.74±1.87 <sup>b</sup>	9.89±1.93 <sup>b</sup>	8.21±1.22 <sup>a,b</sup>
高密度脂蛋白 HDL-C (g/L)	1.90±0.21 <sup>a</sup>	2.14±0.14 <sup>a</sup>	2.86±0.31 <sup>b</sup>	3.20±0.29 <sup>b</sup>	2.45±0.46 <sup>a,b</sup>
低密度脂蛋白 LDL-C (g/L)	0.69±0.07 <sup>a</sup>	0.37±0.07 <sup>b</sup>	0.61±0.11 <sup>a</sup>	0.39±0.03 <sup>b</sup>	0.63±0.16 <sup>a</sup>
高/低密度脂蛋白比 HDL-C /LDL-C (g/L)	2.75±0.39 <sup>a</sup>	5.78±0.88 <sup>b</sup>	4.69±0.67 <sup>b</sup>	5.20±0.81 <sup>b</sup>	4.89±0.73 <sup>b</sup>
白蛋白 ALB (g/L)	14.5±1.86	13.3±1.21	14.7±1.99	15.5±1.94	14.7±1.87
葡萄糖 GLU (g/L)	4.92±0.74 <sup>a</sup>	5.80±0.72 <sup>a</sup>	8.35±1.68 <sup>b</sup>	7.32±0.86 <sup>b</sup>	8.18±1.15 <sup>b</sup>

不能建立外界摄食,便进入饥饿期,因幼鱼机体内主要依赖分解机体蛋白质供能,因此饥饿对幼鱼造成严重伤害,是导致仔稚鱼死亡率高的重要原因之一<sup>[7,9]</sup>。一般动物规格越大其单位体重所消耗的能量越少,同时一般较大规格的动物储存了更多的能量物质,机体发育更加完善,因此对饥饿的调控能力较强。由于饥饿结束期间,无死亡损失,健康状况良好,体重损失较小,表明饥饿对较大规格的太平洋鲑鱼造成的损害较小。

### 3.2 试验太平洋鲑鱼在饥饿期间鱼体供能方式

鱼类在饥饿状态下,其代谢机能发生改变,动用身体贮存的能量来维持生命活动,目前有关鱼类处于饥饿状态下能量提供机制尚有争议。一部分学者认为鱼类在饥饿状态下主要是以消耗机体蛋白质向机体提供能量;也有报道认为主要依靠消耗脂肪提供能量,还有少数报道认为饥饿早期主要以消耗脂肪为主提供能量,随着饥饿时间的延长脂肪消耗逐渐减少,最后脂肪含量趋于稳定,蛋白质消耗逐渐增加。这些差异可能是因鱼的种类、规格或饥饿时间不同<sup>[18]</sup>。Mehner 和 Wieser 认为,鱼类在长期饥饿状态下对其自身贮存的能量的利用有两方面的适应:一是降低代谢水平以减少能量消耗;另一方面又尽可能将代谢保持在一定水平以保证在重新获得食物供应后或受到其他环境危害时能产生一定的应激反应<sup>[6]</sup>。本实验结果表明,较大规格的太平洋鲑鱼

随饥饿时间的延长相对体损失率成直线上升(图 1),体重损失幅度未随饥饿时间的延长而提高。试验期间,饥饿 32d 后体重较对照组下降 7.50%。肝脏脂肪和糖原含量在饥饿 8d 后分别下降 59% 和 37%,继续延长饥饿时间至 32d 未显著降低,肠脂比和肌肉中脂肪含量持续下降,32d 后分别下降 58% 和 32%,肌肉中蛋白质含量下降 1.8%,肌糖原和灰分无明显变化。鉴于单位质量的脂肪提供能量远高于糖原,表明饥饿后期太平洋鲑能耗上升。类似的现象在其他鱼类也有报道,可能是因鱼类在饥饿初期机体主要表现为降低代谢水平以节约能量,而在饥饿后期主要为机体尽可能将代谢维持在一定水平且增加觅食活动强度,最终表现为机体能耗上升<sup>[4,6]</sup>。太平洋鲑在饥饿初期以消耗肠系膜中贮存的脂肪、肝脏中沉积的脂肪和糖原维持生存,随着饥饿时间的延长,转变为以消耗肠系膜和肌肉中贮存的脂肪以及少量的蛋白质维持生命活动。因糖原单位重量少,提供的能量十分有限,不难推断饥饿期间,太平洋鲑鱼主要利用肝脏、肌肉和肠系膜中贮存的脂肪维持生命活动。肠系膜脂肪比例含量最高,下降比例也最大;肝脏和肌肉中脂肪占机体脂肪总量的比例较小,消耗也相对较少,表明肠系膜中贮存的脂肪是太平洋鲑鱼饥饿期间最主要的能源来源。幼鱼在饥饿状态下,主要以消耗机体蛋白提供能量,而实验中太平洋鲑鱼主要消耗机体脂肪提供能量,由于单位质

量蛋白质较脂肪提供的能量要少得多, 所以能有效利用脂肪供能的大规格鱼有更强的耐飢饿能力。

### 3.3 试验太平洋鲑鱼在飢饿期间血浆的相关生化指标变化

动物飢饿期间脂肪大量分解供能, 主要通过以下途径来实现: 1. 飢饿期间能量大量消耗, AMP 含量升高, 激活 AMP 环化酶, 形成大量的 cAMP 和通过肾上腺素和高血糖素升高 cAMP 含量, 激活 cAMP-依耐性蛋白激酶, 通过酶联式级连放大效应一定程度上提高脂肪分解酶活性; 2. AMP 含量升高, 抑制了脂肪酸合成和加快了组织中脂肪酸向线粒体中的运输, 从而加速脂肪在体内的氧化; 3. 通过脂蛋白脂酶分解甘油三酯和胆固醇酯含量高的脂蛋白, 如低密度脂蛋白(LDL)、中度密度脂蛋白(IDL)、极低密度脂蛋白等(VLD)和乳糜微粒等, 释放脂肪酸向机体供能<sup>[19]</sup>。从表 4 中可知, 太平洋鲑鱼在飢饿期间血浆中甘油三酯含量不同程度的下降, 脂肪分解酶在前期有所升高, 后期轻度下降。考虑到在飢饿期间脂肪酶只用于分解机体贮存的脂肪, 其酶对体内脂肪分解能力相对提高。血浆中低密度脂蛋白波动式下降, 高密度脂蛋白和胆固醇含量上升, 说明体内脂肪代谢活跃。这证实了在飢饿期间太平洋鲑鱼能够有效的利用体内贮存的脂肪供能。一般认为, 动物飢饿期间血液中的葡萄糖会首先作为能源物质直接供能, 含量会显著降低, 而本实验表明飢饿 16d 后(表 4)血浆中葡萄糖含量不但没降低, 在飢饿后期反而显著升高。这可能是因为鱼类是天生的糖尿病患者, 对糖的利用能力较低, 因己糖激酶是葡萄糖分解过程中的关键酶, 而鱼类普遍活性较低, 这限制了葡萄糖的代谢; 飢饿刺激产生大量的乙酰乙酸和 D-β-羟丁酸进入血液向肝外组织供能, 竞争性抑制了葡萄糖的利用, 对葡萄糖的利用能力降低; 飢饿期间肝糖原大量释放到血液中和肝脏中糖异生葡萄糖加速, 同时通过分泌胰岛素和肾上腺素升高血糖浓度, 而对胰岛素的调节不敏感。飢饿期间太平洋鲑血浆中谷草转氨酶和白蛋白含量与未飢饿鱼基本相同, 表明飢饿期间太平洋鲑肝功能正常和机体蛋白损耗小。

综上所述, 体重约 217 g 左右太平洋鲑鱼飢饿 8—32d 的飢饿期间存活率均为 100%, 游动正常。随飢饿时间的延长, 相对体损失率呈直线上升, 飢饿 32d 体重下降 7.50%。飢饿初期太平洋鲑鱼主要消耗

肝脏糖原和脂肪、部分肠系膜脂肪和少许肌肉中脂肪维持生命活动, 能耗较低; 飢饿后期主要以消耗肠系膜脂肪、部分肌肉脂肪和少量蛋白质维持生命活动, 能耗较高。飢饿期间, 肠系膜中脂肪是太平洋鲑鱼最主要的能量来源, 太平洋鲑鱼能够有效地利用体内贮存的脂肪, 有较强的耐受飢饿能力。

### 参考文献:

- [1] Mersmann H J. Compensatory growth in finishing pigs after feed restriction [J]. *J. Anim. Sci.*, 1987, **64**(6): 752—764
- [2] Greeff J C. The effect of compensatory growth on food intake, growth rate and efficiency of feed utilization in sheep. South-Africa [J]. *J. Anim. Sci.*, 1986, **16**(2): 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): 1—5
- [5] 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**(2): 195—208
- [6] Mehner T, Wieser W. Energetic and metabolic correlates of starvation in juvenile perch (*Perca fluviatilis*) [J]. *J. Fish Biol.*, 1994, **45**(3): 325—333
- [7] Zamal H, Ollevier F. Effect of feeding and lack of food on the growth, gross biochemical and fatty acid composition of juvenile catfish [J]. *J. Fish Biol.*, 1995, **18**: 195—208
- [8] Dobson S H, Holmes R M. Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson [J]. *J. Fish. Biol.*, 1984, **25**(5): 649—656
- [9] 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**(6): 947—957
- [10] 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**(1): 33—41
- [11] 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**(2): 285—293
- [12] Deng L, Zhang B, Xie X J, et al. The recovery growth in the southern catfish (*Silurus meridionalis*) following starvation [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, **23**(2): 163—167 [邓利, 张波, 谢小军. 南方鲇飢饿后的恢复生长. 水生生物学报, 1999, 23(2): 163—167]

[13] Jiang Z Q, Jia Z M, Han Y B, et al. The compensatory growth and its mechanism in red drum, *Sciaenops ocellatus*, after food deprivation [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2002, **26**(1): 67—72 [姜志强, 贾泽梅, 韩延波, 等. 美国红鱼饥饿后的补偿生长及机制. 水产学报, 2002, **26**(1): 67—72]

[14] Zhang B, Sun Y, Tang Q S. The effects of starvation on growth and biochemical composition in *Pagrosomus major* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2000, **20**(3): 206—210 [张波, 孙耀, 唐启升. 饥饿对真鲷生长及生化组成的影响. 水产学报, 2000, **24**(3): 206—210]

[15] Du Z Y, Liu Y J, Tian L X, et al. Effects of starvation on visceral weight and main biochemical composition of the muscle, liver and serum in the Japanese sea bass (*Lateo-*  
*labrax japonicus*) [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2003, **49**(4): 458—465 [杜震宇, 刘永坚, 田丽霞, 等. 饥饿对鲈肌肉、肝脏肌肉和血清中主要生化组成的影响. 动物学报, 2003, **49**(4): 458—465]

[16] Committee on Animal Nutrition Board on Agriculture National Research Council Nutrient Requirements of Fish [M]. National Academy Press. Washington, D.C. 1993, 71

[17] Lin H R. Physiology of fish [M]. Guangzhou: Higher Education Press. 2002, 17—21 [林浩然. 鱼类生理学. 广州: 广东高等教育出版社. 2002, 17—21]

[18] Wang J Y, Zhu S G, Xu C F. Biochemistry 3<sup>rd</sup> [M]. Beijing: Higher Education Press. 2002, 168—180 [王镜岩, 朱圣庚, 徐长法主编. 生物化学(第3版). 北京: 高等教育出版社. 2002, 168—180]

## THE EFFECTS OF STARVATION ON GROWTH, PROXIMATE COMPOSITION AND BIOCHEMICAL INDEX OF PLASMA OF PACIFIC SALMON (*ONCORHYNCHUS* spp.)

LUO Bo, FENG Jian, JIANG Bu-Guo, PAN Yan-Yun, PANG Wei and ZHAO Hua-Lin

(Institute of Aquaculture, Guangxi University, Nanning 530004)

**Abstract:** This experiment was conducted to determine the effects of starvation on growth, proximate composition and the biochemical index of plasma of Pacific Salmon (*Oncorhynchus* spp.). 90 Pacific Salmon with an average weight about 217g were randomly stocked in five-test aquarium (0.25m<sup>3</sup>), which was starvation from 0 to 32d. The rearing water temperature was 17.0±2.9°C. 18 fish (six fish from each triplicate aquarium) were sampled at 0, 8, 16, 24 and 32d of each starvation group, respectively. The experiment indicated that no mortality or physical abnormal sign was observed in any test group throughout the experiment. Starvation for 32d, the weight was decreased by 7.50% and the relative loss rate of weight was 0.175% on average. At the same time, the relative loss rate of weight and the starvation time had the positive correlation ( $P<0.05$ ), linear regression equation was  $y = 0.0086x$  ( $R^2 = 0.9177$ ). The lipid of the mesentery was as the main source of the energy, and it had the negative relation with the starvation time, linear regression equation was  $Y = -0.0719x \pm 4.11$  ( $R^2 = 0.9732$ ). Pacific salmon consumed liver fat and hepatic glycogen mainly in the early starvation stage and its energy consumption was relatively low. On later starvation stage, it mainly consumed mesentery fat, some muscle fat and some proteins for energy source, its energy consumption rose obviously. Lipolytic enzyme (LIPA) and albumin (ALB) did not have significantly difference in the test groups compared with the control group ( $P > 0.05$ ). The cholesterol (CH), triglyceride (TG) and high-density lipoprotein (HDL) had significant difference among the groups ( $P < 0.05$ ) and it improved that the metabolic of lipid was active. Pacific salmon had the definitive ability of tolerating starvation relatively better for using the lipid storied in body.

**Key words:** Pacific Salmon; Physiology; Biochemistry; Starvation; Growth