

# 饥饿对太平洋鲑(*Oncorhynchus* spp.)鱼体脂肪与脂肪酸的影响\*

陈斌 冯健 吴彬 彭淇

(广西大学水产研究所 南宁 530004)

**摘要** 采用禁食试验方法进行了太平洋鲑生长鱼经 8—32d 饥饿后对其鱼体脂肪与脂肪酸变化的影响研究。结果表明, 饥饿期间脂肪是太平洋鲑主要的能量来源, 饥饿初期太平洋鲑主要消耗肝脏脂肪作为能量维持生命活动, 能耗较低; 饥饿中后期主要以消耗肠系膜脂肪和肌肉脂肪作为能量维持生命活动, 能耗逐步增加( $P<0.05$ )。饥饿后, 鱼体肝脏、背肌和肠系膜脂肪中大多数饱和脂肪酸(SFA)和单不饱和脂肪酸(MUFA)比例显著性下降( $P<0.05$ ), 大多数多不饱和脂肪酸(PUFA)( $P<0.05$ )比例显著性上升, 表明太平洋鲑饥饿期间主要消耗 SFA 和 MUFA 供能, 而 PUFA 多予以保留, 较少消耗供能; 二十二碳六烯酸(DHA)和二十碳五烯酸(EPA)比例和 DHA/EPA 比值均升高显著性上升( $P<0.05$ ), 表明太平洋鲑在饥饿条件对脂肪中的 DHA 和 EPA, 特别是 DHA 有较强选择性保留能力。鱼体对肝脏、背肌和肠系膜脂肪利用差异性的主要原因是其组织器官中脂肪酸比例不同。鱼体主要利用体内不同组织脂肪中的 SFA 和 MUFA 供能, 从而节约了机体蛋白质与脂肪中的 PUFA 以维持重要的生命活动。

**关键词** 太平洋鲑鱼, 生理学, 饥饿, 脂肪, 脂肪酸

**中图分类号** S965

近年来鱼类饥饿状态下生理及生化变化以及饥饿后补偿生长效果研究已经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(Bilton, 1973; Weatherley *et al.*, 1981; Quinton *et al.*, 1990)。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, 饥饿是早期死亡率高的主要原因。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, 机体呈不可恢复性损害(Miglav *et al.*, 1989; Mehner *et al.*, 1994; Zamal

*et al.*, 1995)。而大规格生长鱼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。因为生长鱼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(Dobson *et al.*, 1984; Kim *et al.*, 1995)。一些文献曾报道生长鱼在饥饿期间能够通过脂肪酸氧化供能, 如罗非鱼(*Oreochromis niloticus* L.)(Satoh *et al.*, 1984)、非洲鲶(*Clarias gariepinus*)(Sargent *et al.*, 2002)。但不同鱼类在饥饿期间对脂肪中脂肪酸的利用情况存在差异, 如虹鳟(*Oncorhynchus mykiss* Walbaum)和锦鲤(*Cyprinus carpio* L.)在饥饿期间体内饱和脂肪酸(SFA)和单不饱和脂肪酸(MUFA)含量比例下降, 多不饱和脂肪酸(PUFA)上升(Zamal *et al.*, 1995; Kiessling *et al.*, 1989); 而非洲鲶 SFA 下降, MUFA、

\* 广西科技厅项目(桂科攻 1222013-3)资助。陈斌, E-mail: 252957185@qq.com

通讯作者: 冯健, 教授, 德国慕尼黑大学博士(VMD), E-mail: fengjian08@163.com

收稿日期: 2012-04-21, 收修改稿日期: 2012-06-10

PUFA 上升(Murata *et al.*, 1980)。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的研究,而在生长鱼和成鱼上较少系统报道,目前尚未见到对鱼类饥饿状态下脂肪酸变化的正式研究报道(邓利等, 1999; 张波等, 2000; 姜志强等, 2002; 杜震宇等, 2003)。

太平洋鲑(*Oncorhynchus* spp.), 属鲑目(Orer 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开始人工养殖。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生长鱼在一定条件下(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生长鱼的影响, 揭示太平洋鲑生长鱼在饥饿状态下的机体营养成分变化和对体内能量物质的利用, 具有重要学术意义, 对我国太平洋鲑养殖也具有一定的指导意义。本文对体重 220g 左右太平洋鲑生长鱼在饥饿状态下的鱼体营养物质变化和组织中脂肪酸比例变化进行了研究, 以期探讨饥饿时太平洋鲑生长鱼的主要供能物质以及脂肪酸比例变化规律。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验鱼分组与饲养管理

试验太平洋鲑生长鱼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 220g 左右, 在 0.25m<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 3 个平行重复水族箱。暂养期间每天投喂 2 次, 分别为 9:00 和 16:00, 投饲量为鱼体重 2%。试验鱼分 5 组, 分别为对照组(饥饿 0d)、试验 1 组(饥饿 8d)、试验 2 组(饥饿 16d)、试验 3 组(饥饿 24d)、试验 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, 平均水温为(17.0±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)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 试验日粮

试验日粮营养标准参照 NRC(National Research Council)推荐标准(NRC, 1993), 蛋白质水平为 38.1%,

脂肪水平为 16.1%, 总糖为 24.3%, 能量为 15.97MJ/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 4mm 的颗粒, 置于-20℃冰箱中备用。

### 1.3 样品采集、分析和计算

试验各饥饿阶段结束后, 对各水族箱试验鱼称重, 同时每个水族箱取 4 尾, 每个实验组共取 12 尾鱼。分别称重, 计算相对体重损失率, 肥满度, 取全鱼、肝脏、肠脂、背肌样品急冻低温保存。分别采用 105℃常压干燥法、微量凯氏定氮法、550℃灼烧法测定样品中水分、蛋白质、灰分含量。各肝脏、肠脂和肌肉样品中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(HP 5890)。文中相关计算公式如下:

$$\text{存活率}(\%) = \text{终末尾数} / \text{初始尾数} \times 100$$

$$\text{相对体重损失率}(\%/d) = (\text{初重} - \text{末重}) / \text{末重} / \text{饲养天数} \times 100\%$$

$$\text{鱼体能量值}(\text{kJ/g}) = [\text{脂肪} \times 39.5 + \text{蛋白质} \times 23.6] / 1000$$

$$\text{脂肪酸变化比例}(\%) = (\text{饥饿后脂肪酸比例} - \text{饥饿前脂肪酸比例}) / \text{饥饿前脂肪酸比例} \times 100$$

### 1.4 统计分析

试验数据采用单因素和单因素多重比较的分析方法进行检验。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。所有的数据用 SPSS17.0 统计软件处理。

## 2 结果

### 2.1 试验各组鱼的存活率、相对体重损失率

试验各组鱼的存活率和相对体重损失率见表 1。饥饿期间, 试验各组鱼的存活率均为 100%, 游动活泼, 大体解剖观察未见异常。试验 3、4 组的日相对体重损失率最高, 分别为 0.26±0.06 和 0.25±0.05, 试验 2 组(0.11±0.03)其次, 试验 1 组(0.07±0.01)最低, 相互间差异显著( $P < 0.05$ )。相对体重损失率随时间的延长而增加, 饥饿 32d 后平均体重下降 7.50%。试验表明, 饥饿 32d 内对太平洋鲑生长鱼存活率无影响, 其相对体重损失率随着饥饿时间延长而明显增高。

### 2.2 试验各组鱼鱼体脂肪和蛋白质含量

试验各组鱼鱼体脂肪和蛋白质见表 2。饥饿前鱼体中脂肪含量最高, 显著高于饥饿 16d、24d 和 32d

表 1 试验各组鱼的存活率(SR)、相对体重损失率(RWR)  
Tab.1 The survival rate (SR) and relative weight loss rate (RWR) in fish

组别	存活率 SR(%)	始重 IBW(g)	末重 FBW(g)	相对体重损失率 RWR(%/d)
对照组	100	212.1±9.8	212.1±9.8	0.00±0.00 <sup>a</sup>
试验 1 组	100	217.0±10.4	215.7±10.5	0.07±0.01 <sup>b</sup>
试验 2 组	100	214.0±11.2	210.5±10.6	0.11±0.03 <sup>c</sup>
试验 3 组	100	221.3±8.9	208.1±9.2	0.26±0.06 <sup>d</sup>
试验 4 组	100	219.4±9.6	203.1±8.7	0.25±0.05 <sup>d</sup>

注: 同一列数据右上角不同上标小写字母表示有显著差异( $P<0.05$ ), 下同

表 2 试验各组鱼鱼体水分、脂肪、蛋白质与灰分含量(%)与能量值( $n=6$ )  
Tab.2 The contents (%) of water, lipid, protein, ash and energy in fish ( $n=6$ )

组别	水分	脂肪	蛋白质	灰分	能量值(kJ/g)
对照组	71.01±0.31 <sup>a</sup>	6.44±0.19 <sup>a</sup>	18.71±0.34	2.41±0.04	0.69±0.02 <sup>a</sup>
试验 1 组	71.62±0.27 <sup>a</sup>	6.17±0.10 <sup>a</sup>	18.57±0.19	2.39±0.05	0.68±0.01 <sup>a</sup>
试验 2 组	72.25±0.31 <sup>a</sup>	5.76±0.27 <sup>b</sup>	18.60±0.24	2.40±0.03	0.67±0.01 <sup>ab</sup>
试验 3 组	72.73±0.22 <sup>b</sup>	5.49±0.16 <sup>b</sup>	18.55±0.28	2.40±0.05	0.65±0.02 <sup>b</sup>
试验 4 组	73.30±0.15 <sup>c</sup>	4.68±0.09 <sup>c</sup>	18.34±0.21	2.41±0.03	0.62±0.02 <sup>b</sup>

组鱼( $P<0.05$ ), 而饥饿 16d 和 24d 组显著高于饥饿 32d 组鱼( $P<0.05$ )。鱼体中脂肪含量随饥饿时间延长而显著降低。鱼体中蛋白质含量随饥饿时间呈轻微下降趋势, 但饥饿 32d 后各试验组鱼体蛋白质含量变化不显著( $P>0.05$ )。试验表明, 随着饥饿时间的延长, 太平洋鲑生长鱼鱼体中脂肪含量明显下降, 而蛋白质含量下降缓慢。鱼体能量值下降主要是鱼体中脂肪含量降低缘故。

### 2.3 试验各组鱼的肠脂比、肝脏脂肪和肌肉脂肪含量

试验各组鱼的肠脂比(FMB)、肝脏脂肪(CLL)与肌肉脂肪(CLM)含量见表 3。饥饿 8d, 试验鱼肝脂肪含量明显下降( $P<0.05$ ), 而肠脂比和肌肉脂肪含量下降幅度差异不显著( $P>0.05$ ); 随着饥饿时间延长, 肠脂比和肌肉脂肪含量较对照组显著或极显著下降( $P<0.05$  或  $P<0.01$ ), 而肝脂肪含量下降不明显( $P>0.05$ )。试验表明, 饥饿期间肠系膜脂肪和肌肉脂肪是太平洋鲑生长鱼维持生命的主要能量来源。

表 3 试验各组太平洋鲑鱼的肠脂比(FMB)、肝脏脂肪(CLL)和肌肉脂肪(CLM)含量(%)( $n=6$ )

Tab.3 The fat in mesentery/body (FMB), contents of lipid in liver (CLL) and in muscle (CLM) in fish (%) ( $n=6$ )

组别	肠脂比	肝脏脂肪含量	肌肉脂肪含量
对照组	4.17±0.10 <sup>a</sup>	15.09±2.14 <sup>a</sup>	6.13±0.16 <sup>a</sup>
试验 1 组	3.60±0.57 <sup>ab</sup>	9.50±1.45 <sup>b</sup>	5.93±0.10 <sup>a</sup>
试验 2 组	2.76±0.31 <sup>b</sup>	8.84±0.98 <sup>b</sup>	5.45±0.38 <sup>b</sup>
试验 3 组	2.59±0.39 <sup>b</sup>	8.26±1.12 <sup>b</sup>	5.09±0.12 <sup>b</sup>
试验 4 组	1.74±0.40 <sup>c</sup>	8.54±1.38 <sup>b</sup>	4.21±0.07 <sup>c</sup>

### 2.4 试验前后太平洋鲑生长鱼鱼体脂肪酸比例

饥饿前(对照组)后(试验 4 组)太平洋鲑肝脏、背肌和肠系膜中脂肪酸比例见表 4。共检出 21 种脂肪酸, 碳链长度在 14 碳至 22 碳之间。其中饱和脂肪酸(SFA)5 种, 单不饱和脂肪酸(MUFA)4 种, 多不饱和脂肪酸(PUFA)12 种。饥饿前, 脂肪酸种类与比例分布关系为: SFA 比例为肠系膜>背肌>肝脏, MUFA 比例为背肌>肝脏>肠系膜, 而 UFA、PUFA、 $\omega$ -3 PUFA 和  $\omega$ -6 PUFA 比例均为肝脏>背肌>肠系膜。饥饿后, 太平洋鲑肝脏、背肌和肠系膜中脂肪酸比例与饥饿前差异显著( $P<0.05$ )。饥饿后太平洋鲑肝脏、背肌和肠系膜中大多数 SFA 和 MUFA 比例比例显著降低, 致使 SFA 和 MUFA 比例显著降低( $P<0.05$ ); 大多数 PUFA 比例比例显著降低, 致使 PUFA、 $\omega$ -3PUFA、 $\omega$ -6PUFA 比例和  $\omega$ -6PUFA/  $\omega$ -3PUFA 比值显著上升( $P<0.05$ ), 其中二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA)比例和 DHA/ EPA 值均显著上升( $P<0.05$ )。

饥饿后, 太平洋鲑鱼肝脏、背肌和肠系膜中脂肪酸比例变化见表 5。肝脏对脂肪酸的利用能力为: 14:0 > 17:0 > 18:0 > 20:1 > 22:1 > 16:0 > 15:0 > 16:1 > 18:1; 背肌为: 18:0 > 15:0 > 14:0 > 18:1 > 20:1 > 16:0 > 17:0 > 22:1 > 16:1; 肠系膜为: 20:1 > 14:0 > 15:0 > 18:0 > 16:1 > 16:0 > 18:1 > 17:0 > 22:1。肝脏对脂肪酸的保留能力为: 22:4n-6 > 20:2n-3 > 18:3n-3 > 22:6n-3 > 20:3n-3 > 20:5n-3 > 18:2n-6 > 22:5n-3 > 22:3n-3 > 20:4n-6 > 22:4n-3 > 18:4n-3; 背肌为: 22:5n-3 > 20:3n-3 = 22:3n-3 > 22:4n-6 > 20:4n-6 > 22:6n-3 >

18:4n-3 > 18:2n-6 > 20:5n-3 > 18:3n-3; 肠系膜为: 22:4n-6 = 20:2n-3 > 22:4n-3 = 20:3n-3 > 22:3n-3 = 18:3n-3 > 22:6n-3 > 22:5n-3 = 18:4n-3 > 20:5n-3 > 18:2n-6。而肝脏脂肪中脂肪酸的比例变化波动情况较肠系膜和肌肉明显。

试验表明, 太平洋鲑生长鱼肝脏、背肌和肠系膜脂肪中脂肪酸分布存在差异, 饥饿后大多数 SFA 和 MUFA 比例明显降低, 大多数 PUFA 比例明显升高;  $\omega$ -6PUFA/  $\omega$ -3PUFA 和 DHA/EPA 比值明显升高。

饥饿期间太平洋鲑生长鱼不同组织器官对脂肪中不同脂肪酸的利用与保留能力存在差异。

### 3 讨论

#### 3.1 试验太平洋鲑生长鱼在饥饿期间鱼体主要供能方式

鱼类在饥饿状态下, 其代谢机能将发生改变, 动用身体贮存的营养物质来维持生命活动, 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

表 4 试验前后太平洋鲑肝脏、背肌和肠系膜脂肪酸比例(%)(n=6)  
Tab.4 The fatty acid composition (%) in liver, muscle and mesentery in fish around test (n=6)

脂肪酸	肝脏		背肌		肠系膜	
	实验前	实验后	实验前	实验后	实验前	实验后
14:0	6.1±0.4 <sup>a</sup>	3.2±0.4 <sup>b</sup>	7.8±0.6 <sup>a</sup>	6.2±0.7 <sup>b</sup>	11.9±1.1 <sup>a</sup>	9.2±0.8 <sup>b</sup>
15:0	2.1±0.3 <sup>a</sup>	1.3±0.3 <sup>b</sup>	3.1±0.2 <sup>a</sup>	2.2±0.3 <sup>b</sup>	4.9±0.6 <sup>a</sup>	3.8±0.4 <sup>b</sup>
16:0	14.9±0.9 <sup>a</sup>	9.2±1.0 <sup>b</sup>	16.5±1.1 <sup>a</sup>	14.8±0.6 <sup>b</sup>	23.6±0.9 <sup>a</sup>	19.1±1.2 <sup>b</sup>
17:0	0.9±0.2 <sup>a</sup>	0.5±0.1 <sup>b</sup>	2.2±0.2	2.0±0.3	3.8±0.5	3.4±0.3
18:0	6.3±0.9 <sup>a</sup>	3.5±0.5 <sup>b</sup>	6.9±0.6 <sup>a</sup>	4.7±0.5 <sup>b</sup>	13.2±0.7 <sup>a</sup>	10.6±0.8 <sup>b</sup>
16:1	14.1±1.1 <sup>a</sup>	9.4±0.6 <sup>b</sup>	15.8±0.4 <sup>a</sup>	14.7±0.3 <sup>b</sup>	7.8±0.5 <sup>a</sup>	6.3±0.3 <sup>b</sup>
18:1	3.6±0.3 <sup>a</sup>	2.9±0.2 <sup>b</sup>	4.6±0.2 <sup>a</sup>	3.9±0.2 <sup>b</sup>	3.5±0.3 <sup>a</sup>	2.9±0.2 <sup>b</sup>
20:1	11.6±0.7 <sup>a</sup>	6.7±0.6 <sup>b</sup>	12.3±1.0 <sup>a</sup>	10.7±0.6 <sup>b</sup>	8.7±0.4 <sup>a</sup>	6.2±0.9 <sup>b</sup>
22:1	9.3±0.7 <sup>a</sup>	5.6±0.8 <sup>b</sup>	10.4±0.6 <sup>a</sup>	9.5±0.3 <sup>b</sup>	4.9±0.2	4.7±0.3
18:2n-6	1.0±0.2 <sup>a</sup>	1.6±0.2 <sup>b</sup>	1.2±0.1 <sup>a</sup>	1.6±0.2 <sup>b</sup>	0.9±0.1 <sup>a</sup>	1.2±0.1 <sup>b</sup>
20:2n-3	0.2±0.0 <sup>a</sup>	0.5±0.1 <sup>b</sup>	0.2±0.1	0.2±0.2	0.1±0.1 <sup>a</sup>	0.3±0.1 <sup>b</sup>
20:3n-3	0.3±0.1 <sup>a</sup>	0.6±0.1 <sup>b</sup>	0.1±0.2	0.2±0.2	0.2±0.1 <sup>a</sup>	0.5±0.1 <sup>b</sup>
20:4n-6	0.9±0.2 <sup>a</sup>	1.3±0.2 <sup>b</sup>	0.4±0.1 <sup>a</sup>	0.7±0.1 <sup>b</sup>	0.3±0.1	0.3±0.2
22:3n-3	0.2±0.0 <sup>a</sup>	0.3±0.1 <sup>b</sup>	0.1±0.1	0.2±0.1	0.1±0.1	0.2±0.2
22:4n-3	0.3±0.1	0.4±0.1	0.3±0.1	0.3±0.3	0.2±0.1 <sup>a</sup>	0.5±0.1 <sup>b</sup>
18:3n-3	0.5±0.1 <sup>a</sup>	1.2±0.2 <sup>b</sup>	0.6±0.2	0.7±0.2	0.4±0.1 <sup>a</sup>	0.8±0.1 <sup>b</sup>
18:4n-3	1.7±0.2	1.9±0.3	1.1±0.2 <sup>a</sup>	1.6±0.1 <sup>b</sup>	0.9±0.2 <sup>a</sup>	1.5±0.2 <sup>b</sup>
20:5n-3(EPA)	12.3±1.1 <sup>a</sup>	20.6±1.5 <sup>b</sup>	8.0±0.6 <sup>a</sup>	10.3±1.0 <sup>b</sup>	6.2±0.4 <sup>a</sup>	10.3±0.8 <sup>b</sup>
22:4n-6	0.7±0.3 <sup>a</sup>	2.5±0.4 <sup>b</sup>	0.5±0.2 <sup>a</sup>	0.9±0.2 <sup>b</sup>	0.4±0.1 <sup>a</sup>	1.2±0.3 <sup>b</sup>
22:5n-3	1.8±0.3 <sup>a</sup>	2.8±0.4 <sup>b</sup>	0.8±0.1 <sup>a</sup>	2.1±0.6 <sup>b</sup>	0.6±0.2 <sup>a</sup>	1.0±0.1 <sup>b</sup>
22:6n-3(DHA)	13.6±0.8 <sup>a</sup>	27.5±1.7 <sup>b</sup>	10.6±0.9 <sup>a</sup>	16.6±1.2 <sup>b</sup>	9.9±0.6 <sup>a</sup>	18.2±1.0 <sup>b</sup>
合计	102.4±1.9	103.5±1.2	103.5±2.0	104.0±1.8	102.5±1.9	102.2±1.1
总饱和脂肪酸 SFA	30.3±1.3 <sup>a</sup>	17.7±0.9 <sup>b</sup>	36.5±1.2 <sup>a</sup>	29.9±1.6 <sup>b</sup>	57.4±1.4 <sup>a</sup>	46.1±2.3 <sup>b</sup>
总不饱和脂肪酸 UFA	72.1±2.5	85.8±2.2	67.0±1.7	74.1±2.8	45.1±1.6	56.1±1.9
总单不饱和脂肪酸 MUFA	38.6±1.7 <sup>a</sup>	24.6±1.2 <sup>b</sup>	43.1±1.3 <sup>a</sup>	38.8±1.6 <sup>b</sup>	24.9±1.0 <sup>a</sup>	20.1±1.1 <sup>b</sup>
总多不饱和脂肪酸 PUFA	33.5±1.3 <sup>a</sup>	61.2±3.1 <sup>b</sup>	23.9±2.2 <sup>a</sup>	35.3±1.9 <sup>b</sup>	20.2±1.0 <sup>a</sup>	36.0±2.1 <sup>b</sup>
总 $\omega$ -3 不饱和脂肪酸 $\omega$ -3UFA	30.9±1.8 <sup>a</sup>	56.9±3.1 <sup>b</sup>	21.9±2.4 <sup>a</sup>	32.5±2.9 <sup>b</sup>	18.6±1.9 <sup>a</sup>	33.5±3.1 <sup>b</sup>
总 $\omega$ -6 不饱和脂肪酸 $\omega$ -6UFA	2.6±0.4 <sup>a</sup>	4.3±0.5 <sup>b</sup>	2.0±0.3 <sup>a</sup>	2.8±0.3 <sup>b</sup>	1.6±0.2 <sup>a</sup>	2.5±0.4 <sup>b</sup>
DHA/EPA	1.1±0.1 <sup>a</sup>	1.3±0.1 <sup>b</sup>	1.3±0.2 <sup>a</sup>	1.6±0.1 <sup>b</sup>	1.6±0.1 <sup>a</sup>	1.8±0.1 <sup>b</sup>
$\omega$ -6UFA/ $\omega$ -3UFA	11.9±0.5 <sup>a</sup>	13.2±0.4 <sup>b</sup>	11.0±0.4 <sup>a</sup>	11.6±0.2 <sup>b</sup>	11.6±0.6 <sup>a</sup>	13.4±0.5 <sup>b</sup>

表 5 试验前后太平洋鲑肝脏、背肌和肠系膜脂肪酸变化比例(%)  
Tab.5 The fatty acid changing rate (%) in liver, muscle and mesentery in fish around test

脂肪酸	肝脏	背肌	肠系膜	脂肪酸	肝脏	背肌	肠系膜
14:0	-47.5	-20.5	-22.7	20:3n-3	100.0	100.0	150.0
15:0	-38.1	-29.0	-22.5	20:4n-6	44.4	75.0	0.0
16:0	-38.3	-10.3	-19.1	22:3n-3	50.0	100.0	100.0
17:0	-44.4	-9.1	-10.5	22:4n-3	33.3	0.0	150.0
18:0	-44.4	-31.9	-19.7	18:3n-3	140.0	16.7	100.0
16:1	-33.3	-7.0	-19.2	18:4n-3	11.8	45.5	66.7
18:1	-19.4	-15.2	-17.1	20:5n-3(EPA)	67.5	28.8	66.1
20:1	-42.2	-13.0	-28.7	22:4n-6	257.1	80.0	200.0
22:1	-39.8	-8.7	-4.1	22:5n-3	55.5	162.5	66.7
18:2n-6	60.0	33.3	33.3	22:6n-3(DHA)	102.2	56.6	83.8
20:2n-3	150.0	0.0	200.0				

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(Mehner *et al*, 1994)。本实验结果表明,平均体重为 220g 左右的太平洋鲑鱼在饥饿期间无死亡,游动活泼,大体解剖观察未见异常。饥饿期间,太平洋鲑鱼平均日体重相对损失率为 0.175%,饥饿 32d 后平均体重下降 7.50%,与 286g 左右鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)饥饿 9 周的体重损失率相似(杜震宇等, 2003);但与 8.25g 美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)饥饿 15d 后体重下降 18.80%(姜志强等, 2002), 30—50g 真鲷(*Pagrosomus major*)饥饿 15d 后体重下降 7.05%(张波等, 2000), 以及 74g 南方鲂(*Silurus meridionalis*)饥饿 30d 体重下降 14.30%(邓利等, 1999)相比,太平洋鲑鱼在饥饿期间体重损失明显较小。幼鱼在饥饿期间,因机体内贮藏的脂肪较少,主要依赖分解机体组织蛋白质供能,由于组织蛋白质在鱼体具有重要的生物功能,其能量又远低于脂肪,因此饥饿对幼鱼将造成明显的体重下降和严重机体损害,是导致幼鱼死亡率高的主要原因之一(Zamal *et al*, 1995; Miglavš *et al*, 1989)。本实验发现平均体重在 220g 左右的太平洋鲑在饥饿期间主要消耗机体脂肪组织供能,饥饿初期主要消耗肝脏中的脂肪供能,随着饥饿时间的延长,转变为以主要消耗肠系膜脂肪和肌肉中脂肪供能。这是因为肝脏与肌肉中的部分脂肪是 PUFA,以脂蛋白的形式存在,将参与机体重要的生命活动而

得予保留,而肠系膜脂肪主要为储存能量组织,在饥饿期间消耗明显。所以太平洋鲑鱼在饥饿期间能够有效利用机体中贮存的脂肪作为能量维持生命活动,有效地减少了机体消耗组织蛋白质供能,因此饥饿对太平洋鲑生长鱼造成的机体损害较轻。

### 3.2 试验太平洋鲑鱼在饥饿期间不同组织脂肪中脂肪酸比例变化

动物体各组织器官由于功能不同,其脂肪中的脂肪酸比例也不同,肠系膜是鱼体主要的脂肪沉积和供能中心,肝脏则为营养物质的代谢中心,而肌肉是运动组织。本实验结果表明,从脂肪酸比例分布看,饥饿前太平洋鲑生长鱼肝脏脂肪中 PUFA(33.5%)明显高于肌肉(23.9%)和肠系膜(20.2%),而肠系膜脂肪中 SFA(57.4%)明显高于肌肉(36.5%)和肝脏(30.3%)。饥饿后肝脏脂肪酸的变化波动情况为较肠系膜和肌肉明显,不同组织脂肪中各种脂肪酸的代谢情况也不尽相同,肝脏、背肌和肠系膜脂肪中各种脂肪酸的利用和保留能力存在差异。有研究发现,饥饿期间非洲鲶幼鱼和中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)体内脂肪酸代谢也是肝(胰)脏脂肪酸的波动大于肌肉,这可能与肝脏是机体代谢中心有关,大多数多不饱和脂肪酸是以脂蛋白的形式存在而得以保留,饥饿时不同组织器官脂肪中脂肪酸利用差异可能是因鱼(动物)的种类,组织功能不同而造成(Zamal *et al*, 1995; Wen *et al*, 2006)。

本实验结果表明,饥饿后太平洋鲑生长鱼肝脏、背肌和肠系膜脂肪中大多数 SFA 和 MUFA 比例均明显降低,而大多数 PUFA 比例明显升高。说明太平洋鲑生长鱼对脂肪酸的氧化利用具有高度选择性,鱼

体内优先选择 SFA 和 MUFA 进行氧化供能。研究发现, 在鱼体脂肪中 SFA 和 MUFA, 如 16:0、18:1n-9、20:1n-9 和 22:1n-11 较容易通过线粒体 $\beta$ -氧化给鱼体提供能量(Sargent *et al.*, 2002); 虽然 PUFA 同样可经过 $\beta$ -氧化途径分解, 但需异构酶和差向酶的参加(Tidwell *et al.*, 1992; Sidell *et al.*, 1995; McKenzie *et al.*, 1998)。鱼类有选择性地利用 SFA 和 MUFA 氧化供能, 主要是因为 PUFA 是生物膜、神经和视觉系统等重要的组成成分和生物活性物质, 其具有比供能更加重要的生物价值(Mourente *et al.*, 1992; Tocher *et al.*, 1992)。饥饿后太平洋鲑肝脏、背肌和肠系膜脂肪中 DHA 和 EPA 比例和 DHA/EPA 值均显著上升, 说明 DHA 较 EPA 比例升高幅度更大, DHA 比 EPA 更难被氧化供能。这是因为氧化供能时, DHA 中 $\Delta 4$  双键的插入和移除需要延长酶, 去饱和酶和过氧化物酶体参与的特殊机制, DHA 的 $\beta$ -氧化需要 NADPH 依赖性的 2,4-二烯酰-CoA 还原酶和 3-顺-2-反-异构酶的作用才能保证其彻底的 $\beta$ -氧化。而过氧化物酶体主要存在于鱼体肝脏中, 因此就造成了 DHA 同 EPA 分解代谢的较大差异(Tidwell *et al.*, 1992; Sidell *et al.*, 1995; McKenzie *et al.*, 1998)。研究发现在苏格兰鲑和大西洋鲑中也存在 DHA 和 EPA 之间的选择性代谢现象(Brodtkorb *et al.*, 1997; Bell, 1998)。

综上所述, 体重约 220g 左右太平洋鲑生长鱼饥饿在 8—32d 饥饿期间平均体重损失率较小。饥饿期间, 脂肪是太平洋鲑鱼主要的能量来源; 饥饿初期太平洋鲑鱼主要消耗肝脏脂肪供能, 饥饿中后期主要消耗肠系膜脂肪和肌肉中脂肪供能。太平洋鲑鱼肝脏、背肌和肠系膜脂肪中脂肪酸分布存在差异, 饥饿后不同组织对不同脂肪酸的利用与保留能力也存在差异。饥饿后大多数 SFA 和 MUFA 比例明显降低, 大多数 PUFA 比例明显升高和 DHA/EPA 比值明显升高。表明在饥饿期间, 太平洋鲑生长鱼主要利用 SFA 和 MUFA 供能, 而 PUFA, 特别是 DHA 较少供能, 表明太平洋鲑生长鱼在饥饿时对不同脂肪酸有较强的选择性氧化供能能力, 保留鱼体蛋白质和脂肪中的 PUFA 以维持重要的生命活动。鱼体对肝脏、背肌和肠系膜脂肪利用差异性的主要原因是其组织器官功能不同和脂肪酸比例不同。饥饿期间, 太平洋鲑生长鱼耐受饥饿能力较强, 32d 饥饿期对鱼体损害较小, 其调节机理有待进一步研究。

#### 参 考 文 献

邓 利, 张 波, 谢小军, 1999. 南方鲇饥饿后的恢复生长.

- 水生生物学报, 23(2): 167—163
- 杜震宇, 刘永坚, 田丽霞等, 2003. 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, 49(4): 458—465
- 张 波, 谢小军, 唐启升, 2000. 饥饿对真鲷生长及生化组成的影响. 水产学报, 24(3): 206—210
- 姜志强, 贾泽梅, 韩延波, 2002. 美国红鱼饥饿后的补偿生长及机制. 水产学报, 26(1): 67—72
- Bell J G, 1998. *Biology of Farmed Fish*. Sheffield Academic Press, Sheffield, UK, 1—114
- Bilton H T, 1973. The effect 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
- Brodtkorb T, Rosenlund G, Lie Ø, 1997. Effects of dietary levels of 20:5n-3 and 22:6n-3 on tissue lipid composition in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*, with emphasis on brain and eye. Aquaculture Nutrition, 3(3): 175—187
- Dobson S H, Holmes R M, 1984. Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. J Fish Biol, 25: 649—656
- Kiessling A, Johansson L, Storebakken T, 1989. Effect of reduced feed ration levels on fat content and fatty acid composition in white and red muscle from rainbow trout. Aquaculture, 79: 169—175
- Kim M K, Lovell R T, 1995. Effect of restricted feeding regimens on compensatory weight gain and tissue changes in channel catfish, *Ictalurus punctatus* in ponds. Aquaculture, 135: 285—293
- McKenzie D J, Higgs D A, Dosanjh B S *et al.*, 1998. Dietary fatty acid composition influences swimming performance in Atlantic salmon (*Salmo salar*) in seawater. Fish Physiology and Biochemistry, 19(2): 111—122
- Mehner T, Wieser W, 1994. Energetic and metabolic correlates of starvation in juvenile perch (*Perca fluviatilis*). Journal of Fish Biology, 45: 325—333
- Miglavls I, Jobling M, 1989. 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. Journal of Fish Biology, 34: 947—957
- Mourente G, Tocher D R, 1992. Effects of weaning onto a pelleted diet on docosahexaenoic acid (22:6n-3) levels in brain of developing turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture, 105: 363—377
- Murata H, Higashi T, 1980. Selective utilization of fatty acids as energy in carp. Bulletin of Japanese Society of Fisheries Science, 46: 1333—1338
- NRC (National Research Council), 1993. *Nutrient Requirements of Fish*. National Academy Press, Washington, D C, USA, 114
- Quinton J C, Blake R W, 1990. The effect of feed cycling and ration level on the compensatory growth response in rain-

- bow trout, *Oncorhynchus mykiss*. J Fish Biol, 37: 33—41
- Sargent J R, Tocher D R, Bell J R, 2002. The Lipids. In: Halver J, Hardy E ed. Fish Nutrition. Academic Press, Elsevier, San Diego, CA, USA, 181—257
- Satoh S, Takeuchi T, Watanabe T, 1984. Effect of starvation and environmental temperature on proximate and fatty acid composition of *Tilapia nilotica*. Bulletin of Japanese Society of Fisheries Science, 50: 79—84
- Sidell B D, Crockett E L, Driedzic W R, 1995. Antarctic fish tissues preferentially catabolize monoenoic fatty acids. Journal of Experimental Zoology, 271(2): 73—81
- Tidwell J H, Webster C, Clark J A, 1992. Effect of feeding, starvation and refeeding on the fatty acid composition of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, tissue. Comparative Biochemistry and Physiology A, 103: 365—368
- Tocher D R, Mourente G, Sargent J R, 1992. Metabolism of [ $^{14}\text{C}$ ] docosahexaenoate (22:6n-3), [ $^{14}\text{C}$ ] eicosapentaenoate (20:5n-3) and [ $^{14}\text{C}$ ] linolenate (18:3n-3) in brain cell from juvenile turbot, *Scophthalmus maximus*. Lipids, 27: 494—499
- Weatherley A H, Gill H S, 1981. Recovery growth following periods of restricted rations and starvation in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. J Fish Biol, 18: 195—208
- Wen X B, Chen L Q, Ku Y M *et al*, 2006. Effect of feeding and lack of food on the growth, gross biochemical and fatty acid composition of juvenile crab, *Eriocheir sinensis*. Aquaculture, 252: 598—607
- Zamal H, Ollevier F, 1995. Effect of feeding and lack of food on the growth, gross biochemical and fatty acid composition of juvenile catfish. J Fish Biol, 18: 195—208

## THE EFFECTS OF STARVATION ON FAT AND FATTY ACIDS COMPOSITION IN PACIFIC SALMON (*ONCORHYNCHUS* spp.)

CHEN Bin, FENG Jian, WU Bin, PENG Qi

(Institute of Aquaculture, Guangxi University, Nanning, 530004)

**Abstract** This experiment was conducted to determine the effects of starvation on fat and fatty acids composition in grower fish of Pacific Salmon (*Oncorhynchus* spp.) by fasting test. The results indicated that fat in fish body was main energy resource for Pacific Salmon during the starvation. Pacific salmon consumed liver fat on early starvation stage mainly and the consumption of energy was relatively low. On middle and later starvation stages, fish consumed mesentery fat and muscle fat for energy resource mainly and the consumption of energy rose obviously ( $P < 0.05$ ). After starvation, the proportion of saturated fatty acids (SFA) and Monounsaturated fatty acids (MUFA) reduced significantly, Polyunsaturated fatty acids (PUFA) proportion as well as the rates of docosahexaenoic Acid (DHA)/Eicosapentaenoic Acid (EPA) and 6PUFA/ 3PUFA elevated significantly ( $P < 0.05$ ). The grower fish of Pacific salmon under starvation could utilize fatty acids in tissue fat selectively. On starvation stage, the fish got energy by oxidation of SFA and MUFA mainly, while PUFA, especially DHA was seldom utilized for energy. The proportion of fatty acids in fat of liver, muscle and mesentery were different, so that the consumption degree of fat in above tissues also showed difference on starvation stage. The test considers that the fish utilized SFA and MUFA in fat of different tissues mainly, and therefore it saved body protein and PUFA in fat for keeping important life activities.

**Key words** Pacific Salmon (*Oncorhynchus* spp.), Physiology, Starvation, Fat, Fatty acids