

饥饿后再投喂对星斑川鲈生化组成以及能值的影响

孙向军¹ 梁拥军¹ 张升利^{1,3} 苏建通¹ 尤宏争^{2,3} 姜志强^{3*}

(¹北京市水产科学研究所, 100068)

(²天津水产技术推广站, 300221)

(³大连海洋大学 农业部海洋水产增养殖学重点开放实验室, 116023)

摘 要 采用饥饿不同时间后再恢复投喂相同时间的方法, 在温度 19 ± 1 °C、盐度 32 ± 1 的条件下, 对相同规格的星斑川鲈 (26.02 ± 0.30 g) 鱼体和粪便的生化组成以及能值等相关指标的影响进行了研究。研究表明, 饥饿后再投喂对星斑川鲈鱼体内水分、脂肪和灰分的含量影响显著, 对鱼体内蛋白质含量无显著影响; 对粪便脂肪和蛋白质含量影响显著, 对粪便中灰分无显著影响; 对鱼体能值影响显著, 对粪便的能值无显著影响。研究还发现, 饥饿处理时间越长, 各相关指标变化越显著; 随着恢复投喂的进行各相关指标逐渐恢复到对照组水平, 饥饿处理时间越长, 恢复到对照组水平所需要的时间越长。

关键词 星斑川鲈 补偿生长 饥饿 生化组成

中图分类号 S917; Q594 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)01-0024-08

Effects of starvation and subsequent feeding on biochemical composition and energy value of *Platichthys stellatus*

SUN Xiang-jun¹ LIANG Yong-jun¹ ZHANG Sheng-li^{1,3}

SU Jian-tong¹ YOU Hong-zheng^{2,3} JIANG Zhi-qiang^{3*}

(¹Beijing Fisheries Research Institute, 100068)

(²Tianjin Fishery Technical Extension Station, 300221)

(³Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Agriculture, Dalian Ocean University, 116023)

ABSTRACT The effect of starvation for varied period of time and subsequent feeding for the same time on the biochemical composition and energy value of *Platichthys stellatus*, cultured in seawater at salinity of 32 ± 1 and temperature of 19 ± 1 °C, was examined. The contents of water, lipid, protein, and ash in the body and feces of *P. stellatus* at an average body weight of 26.02 ± 0.30 g were determined. Compared to the control group, the contents of the examined items were significantly different in three treatments which were starved for 5, 10, and 15 days respectively and subjected to subsequent re-feeding. The contents of water, lipid, and ash, and the energy value in the body of *P. stellatus* changed significantly, while the content of protein

辽宁省科技厅重大项目(2008203002)资助

* 通讯作者。E-mail: zhqjiang@dlfu.edu.cn, Tel: (0411)84762875

收稿日期: 2010-05-31; 接受日期: 2010-07-13

作者简介: 孙向军(1968-), 男, 高级工程师, 主要从事水产动物养殖技术研究。E-mail: sunxiangjun3875@hotmail.com, Tel: (010)61797596

showed a moderate change. The contents of lipid and protein in the feces changed noticeably while the content of ash and the energy value stayed unchanged compared to the control group. It was also found that the biochemical composition was positively correlated with the time of starvation; the longer the starvation time, the more significant the change. The biochemical composition gradually recovered to the normal values after re-feeding, and the longer the starvation time, the longer the recovery time.

KEY WORDS *Platichthys stellatus* Compensatory growth Starvation
Biochemical composition

由于自然界的季节更替、环境剧变或食物分布不均等诸多因素,动物经常受到节律性或突发性胁迫(Wu *et al.* 2000; van Dijk *et al.* 2002)。作为生理生态学上的一种适应,在恢复正常条件后动物会表现出超过正常个体生长速度的现象,称之为补偿生长(Jobling 2001; Dylan *et al.* 2007; Metcalfe *et al.* 2001; Hornick *et al.* 2000)。在任何生物体中,经受营养不足和饥饿的能力以及从营养不足和饥饿中恢复的能力对于生存、生长、发展和繁殖是非常重要的,尤其是能经历一段时间食物的限制(Hervant *et al.* 1997)。但动物对胁迫的承受能力有限,超出其承受范围,动物非但不能恢复生长,甚至导致持续性生长阻滞(Vidal *et al.* 2006; Barash *et al.* 1998; Mikami *et al.* 1995)。处于饥饿或食物不足状态下的鱼类代谢机能发生变化,并利用自身的贮存物质(糖类、脂肪和蛋白质)提供能量以维持生命。一般情况下,鱼类在饥饿开始后,基础营养物质发生分解,水分实际含量下降,但百分含量增加,糖类作为能量贮存物质首先在短时间内被分解,然后利用脂肪,对蛋白质的利用较少,而且一般是在脂肪被大量消耗以后(谢小军等 1998; Ehrlich *et al.* 1976)。饥饿处理结束开始恢复投喂后,鱼体生化组分的积储亦有所不同。

星斑川鲽 *Platichthys stellatus*, 又称星突江鲽(李思忠等 1995)。英文名 Starry flounder, 隶属鲽形目 Pleuronectiformes、鲽科 Pleuronectidae、鲽亚科 Pleuronectinae、川鲽属 *Platichthys* (Neilson 1994), 俗称珍珠鲽、沼鲽等, 是鲽类中的大型鱼种。星斑川鲽分布于北太平洋的亚洲和美洲沿岸(30°~70°N)海域, 主要分布在加拿大、美国、俄罗斯、中国、朝鲜、韩国和日本等国。可进入江河, 我国 20 世纪 80 年代前曾经见于江苏连云港以北的黄海及东北的图们江, 目前自然种群十分罕见(李思忠等 1995)。国外对星斑川鲽的研究较早也较多(Yusa 1957; Mito 1963; Policansky *et al.* 1979), 我国仅近几年对星斑川鲽的分类学、人工育苗和形态发育以及染色体型分析等进行了少量报道(李思忠等 1995; 王波等 2008; 李迪等 2009), 未见对其补偿生长过程中生化组成以及能值变化的研究。本研究以星斑川鲽为研究对象, 研究饥饿后再投喂对其生化组成以及能值的影响, 以期探讨星斑川鲽补偿生长过程中营养价值的变化和改进行养殖技术提供参考。

1 材料和方法

1.1 实验养殖设施与条件

实验在大连海洋大学农业部重点实验室进行。星斑川鲽(26.02±0.30 g)按照实验设计密度置于水族箱(50 L)养殖, 海水温度控制在 19±1 °C, 盐度为 32±1, pH 值为 7.90±0.15, 保持昼夜连续充气, 每天全量换水两次(残饵、粪便收集完毕后换水)。实验所用海水采自大连市黑石礁海区, 经沉淀、砂滤后使用。

1.2 材料来源与驯化

实验所用星斑川鲽(26.02±0.30 g)为大连湾海珍品养殖场提供。所有鱼运回后暂养 10d 使其适应环境。适应期间每天投饵(山东升索公司生产的鲆鲽配合饵料)两次(7:30、17:30), 达饱食状态, 及时清理残饵及粪便。待摄食生长正常后, 随机选取所需样本供实验。

1.3 实验设计

实验设4组进行,每组14尾鱼,分别饥饿0d(对照组S0)、5d(S5)、10d(S10)、15d(S15),然后分别恢复投喂20d,实验共进行35d。每组设置3个重复,实验用的12个水族箱按完全随机化区组设计进行排列。

1.4 样品的收集与测定

实验开始后,每次投喂完15 min后,收集残饵、粪便(充分摄食后收集),5d为一个阶段,作为测定摄食指标的样品。每5d测量1次体重、全长,每组随机选取1条鱼解剖取其肝脏称重,去内脏的鱼体称重后冻存待实验结束后进行相关指标的测定。将所有样品分别称重后,用烘箱在70℃下烘干至恒重,计算含水量。采用凯氏定氮法测定粗蛋白含量(总N \times 6.25),采用索氏抽提法(以乙醚为抽提液)测定粗脂肪含量,将样品在马福炉中灼烧(550℃)4h测得灰分含量。每份样品重复测定两次,当相对偏差超过2%时增加重复次数。取偏差在2%以下的两个测定值的平均数为记录结果。能量采用长沙奔特仪器有限公司生产的控制系统为WSR-1微电脑测热控制器的WGR-1热量计。

1.5 数据的统计与分析

对所有实验数据进行了单因子方差分析,并对不同处理间的数据进行了DUNCAN多重比较,以 $P<0.05$ 作为差异显著的标准。数据的统计分析采用SPSS 13.0进行。

2 结果

2.1 饥饿后再投喂对星斑川鲮生长指标的影响

2.1.1 饥饿后再投喂对星斑川鲮体重的影响

从图1可以看出,饥饿处理对星斑川鲮体重的影响显著。随着饥饿处理时间的延长,体重逐渐降低,各实验组的体重在饥饿处理结束时均显著低于正常投喂的对照组S0水平($P<0.01$)。从恢复投喂开始,S5组体重迅速增加,增长趋势明显高于对照组S0和S10、S15组,在恢复投喂的第10天即赶上对照组S0的水平,差异不显著($P>0.05$)。实验结束时,体重略超对照组S0的水平,但差异不显著($P>0.05$)。S10和S15组在恢复投喂后体重亦逐渐增长,增长趋势高于对照组S0但低于S5组,S10和S15组在恢复投喂后的前10d均显著低于对照组水平($P<0.01$),到实验结束时未能达到对照组S0的水平,S10差异不显著($P>0.05$),而S15差异显著($P<0.05$)。

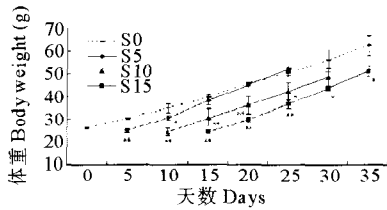
2.1.2 饥饿后再投喂对星斑川鲮全长的影响

从图2可以看出,饥饿处理对星斑川鲮全长的影响显著。各实验组在饥饿处理结束时的全长均显著低于正常投喂的对照组S0的水平($P<0.05$),其中S15组达到差异极显著水平($P<0.01$)。恢复投喂后,各实验组全长均迅速增长。其中S5组增长最快,在恢复投喂的第5天即接近对照组水平,差异不显著($P>0.05$),到实验结束时的全长超过对照组的水平,差异不显著($P>0.05$)。S10和S15组在恢复投喂后全长也迅速增长,但是增长速度低于S5组,到实验最后结束时未能达到对照组水平,差异均显著($P<0.05$)。

2.3 饥饿后再投喂对星斑川鲮鱼体及粪便生化组成的影响

2.3.1 饥饿后再投喂对星斑川鲮鱼体水分含量的影响

从图3可以看出,在实验的整个过程中,对照组S0鱼体的水分含量呈下降趋势。饥饿后再投喂处理对星斑川鲮鱼体内水分含量的影响显著,到饥饿处理结束时,各饥饿组鱼体的水分含量均达到高于同期对照组S0的水平,其中S5组差异不显著($P>0.05$),S10组差异显著($P<0.05$),S15组差异极显著($P<0.01$)。恢复投喂后,S5、S10、S15组均呈下降趋势,但一直高于对照组水平。S5、S10组鱼体的水分含量在实验结束时均达到接近对照组水平,差异不显著($P>0.05$)。S15组鱼体的水分含量在实验结束时略高于对照组,差异不显著($P>0.05$)。



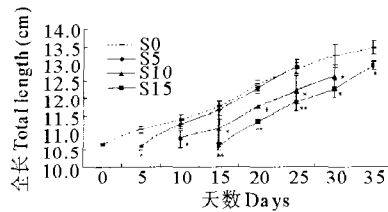
* 表示差异显著, $P < 0.05$; ** 表示差异极显著, $P < 0.01$

* Significant difference, $P < 0.05$;

Highly significant difference, ** $P < 0.01$

图 1 星斑川鲮体重的变化

Fig. 1 Variations of body weight of *Platichthys stellatus*



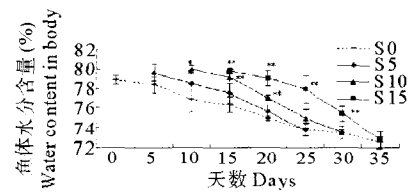
* 表示差异显著, $P < 0.05$; ** 表示差异极显著, $P < 0.01$

Significant difference, * $P < 0.05$;

Highly significant difference, ** $P < 0.01$

图 2 星斑川鲮全长的变化

Fig. 2 Variations of total length of *P. stellatus*



* 表示差异显著, $P < 0.05$; ** 表示差异极显著, $P < 0.01$

Significant difference, * $P < 0.05$;

Highly significant difference, ** $P < 0.01$

图 3 星斑川鲮鱼体水分含量的变化

Fig. 3 Variations of water content in the body of *P. stellatus*

2.3.2 饥饿后再投喂对星斑川鲮鱼体脂肪含量的影响

从图 4 可以看出,饥饿后再投喂处理对星斑川鲮鱼体内粗脂肪含量的影响显著。随着饥饿时间的延长,鱼体内粗脂肪含量逐渐减少,饥饿时间越长,脂肪含量越低。各饥饿处理组 S5、S10、S15 在饥饿处理结束时的鱼体内粗脂肪含量均低于对照组水平,均达到差异极显著水平 ($P < 0.01$)。恢复投喂后,各处理组的粗脂肪含量迅速增加,S5 组恢复投喂 15d 即赶上对照组 S0 水平,差异不显著 ($P > 0.05$),到实验结束时 S5 组粗脂肪含量超过对照组 S0 水平,差异不显著 ($P > 0.05$);S10 到实验结束才赶上并超过对照组 S0 的水平,差异不显著 ($P > 0.05$);S15 组到实验结束时鱼体内粗脂肪含量比对照组水平略低,差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.3.3 饥饿后再投喂对星斑川鲮鱼体蛋白质含量的影响

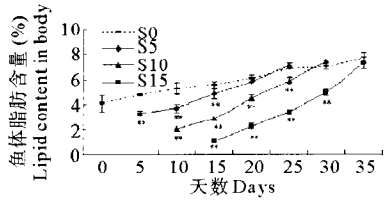
从图 5 可以看出,短期内的饥饿处理对星斑川鲮鱼体内蛋白质含量的影响不显著。饥饿处理结束时,各处理组 S5、S10、S15 蛋白质含量基本维持在与实验开始时对照组 S0 相近水平。在实验的整个过程中,各处理组的蛋白质含量相对比较稳定。各处理组 S5、S10、S15 在饥饿处理结束时,蛋白质含量略高于对照组水平,差异均不显著 ($P > 0.05$)。在恢复投喂后的前 5d,S5、S10 组蛋白质含量呈下降趋势,在之后的恢复投喂的时间里基本维持对照组的趋势与水平,差异均不显著 ($P > 0.05$);S15 组在恢复投喂的前 5d 呈成下降趋势,之后开始缓慢上升,其中恢复投喂的第 5 天和第 10 天达到较低的与对照组差异极显著的水平 ($P < 0.01$)。到实验结束时,S15 组蛋白质含量恢复到对照组水平,差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.3.4 饥饿后再投喂对星斑川鲮鱼体灰分含量的影响

从图 6 可以看出,在整个实验过程中,对照组 S0 鱼体的灰分含量维持在一个比较稳定的水平。饥饿后再投喂处理对星斑川鲮鱼体内灰分含量的影响显著。饥饿时间越长,灰分含量越高,饥饿处理结束时各处理组灰分含量均高于对照组 S0 的水平 ($S5 < S10 < S15$),差异均极显著 ($P < 0.01$)。从恢复投喂开始,各处理组灰分含量逐渐下降。S5 组恢复投喂 10d 即接近对照组水平,差异不显著 ($P > 0.05$),之后一直维持在接近对照组 S0 水平,差异不显著 ($P > 0.05$)。S10、S15 组在恢复投喂的 15d 达到接近对照组水平,差异不显著 ($P > 0.05$),之后一直维持在接近对照组 S0 的水平,差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.3.5 饥饿后再投喂对星斑川鲮鱼粪便中脂肪含量的影响

从图 7 可以看出,在整个实验过程中,对照组 S0 的粪便中脂肪含量呈逐渐上升的趋势。各饥饿处理组在饥饿处理结束开始恢复投喂前 5d 的粪便中脂肪含量高于实验开始时对照组 S0 的水平,并高于同期对照组 S0 的水平,差异均显著 ($P < 0.05$),其中 S10、S15 组差异极显著 ($P < 0.01$)。随着恢复投喂时间的延长,星斑川鲮幼鱼粪便中脂肪含量逐渐降低,S5 组在恢复投喂的 6~10d 降低到接近对照组 S0 的水平,差异不显著 ($P > 0.05$)。到各组实验结束时,各实验组 S5、S10、S15 粪便中脂肪含量略低于对照组 S0 的水平,差异均不显著 ($P > 0.05$)。



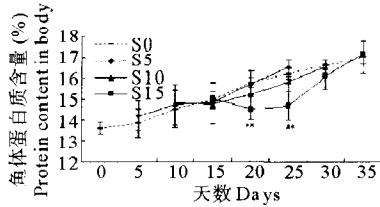
* 表示差异显著, $P < 0.05$; ** 表示差异极显著, $P < 0.01$

Significant difference, $* P < 0.05$;

Highly significant difference, $** P < 0.01$

图 4 星斑川鲮鱼体内脂肪含量的变化

Fig. 4 Variations of lipid content in the body of *P. stellatus*



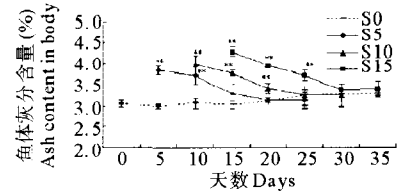
* 表示差异显著, $P < 0.05$; ** 表示差异极显著, $P < 0.01$

Significant difference, $* P < 0.05$;

Highly significant difference, $** P < 0.01$

图 5 星斑川鲮鱼体内蛋白质含量的变化

Fig. 5 Variations of protein content in the body of *P. stellatus*



* 表示差异显著, $P < 0.05$; ** 表示差异极显著, $P < 0.01$

Significant difference, $* P < 0.05$;

Highly significant difference, $** P < 0.01$

图 6 星斑川鲮鱼体内灰分含量的变化

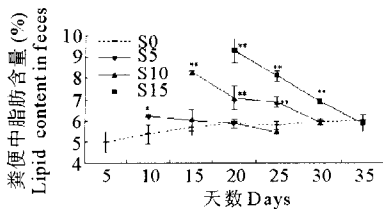
Fig. 6 Variations of ash content in the body of *P. stellatus*

2.3.6 饥饿后再投喂对星斑川鲮粪便中蛋白质含量的影响

从图 8 可以看出,在整个实验过程中,对照组 S0 的粪便中蛋白质含量呈逐渐上升的趋势。各实验组在饥饿处理结束开始恢复投喂前 5d 的粪便中蛋白质含量高于实验开始时对照组 S0 的水平,并高于同期对照组 S0 的水平,差异均极显著 ($P < 0.01$)。随着恢复投喂时间的延长,星斑川鲮粪便中蛋白质含量逐渐降低, S5、S10 组在恢复投喂的 11~15d 降低到接近对照组 S0 的水平,差异均不显著 ($P > 0.05$), S15 组在恢复投喂的 6~10d 降低到接近对照组 S0 的水平,差异不显著 ($P > 0.05$)。各实验组的粪便中蛋白质含量降低到对照组 S0 的水平之后一直维持略低于对照组 S0 的水平到实验结束, S5 差异不显著 ($P > 0.05$), S10、S15 组差异极显著 ($P < 0.01$)。

2.3.7 饥饿后再投喂对星斑川鲮粪便中灰分含量的影响

从图 9 可以看出,在整个实验过程中,对照组 S0 的粪便中灰分的含量维持在一个比较恒定的水平。各实验组在饥饿处理结束后,恢复投喂的过程中粪便中灰分的含量略低于对照组 S0 水平,并一直保持到实验结束,差异均不显著 ($P > 0.05$)。



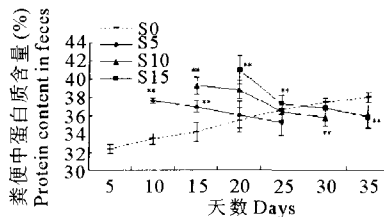
* 表示差异显著, $P < 0.05$; ** 表示差异极显著, $P < 0.01$

Significant difference, $* P < 0.05$;

Highly significant difference, $** P < 0.01$

图 7 星斑川鲮粪便中脂肪含量的变化

Fig. 7 Variations of lipid content in the feces of *P. stellatus*



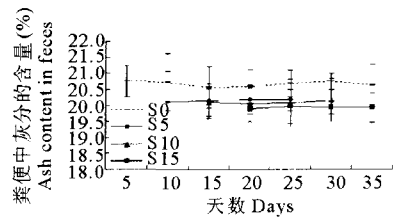
* 表示差异显著, $P < 0.05$; ** 表示差异极显著, $P < 0.01$

Significant difference, $* P < 0.05$;

Highly significant difference, $** P < 0.01$

图 8 星斑川鲮粪便中蛋白质含量的变化

Fig. 8 Variations of protein content in the feces of *P. stellatus*



* 表示差异显著, $P < 0.05$; ** 表示差异极显著, $P < 0.01$

Significant difference, $* P < 0.05$;

Highly significant difference, $** P < 0.01$

图 9 星斑川鲮粪便中灰分含量的变化

Fig. 9 Variations of ash content in the feces of *P. stellatus*

2.4 饥饿后再投喂对星斑川鲮鱼体及粪便能值的影响

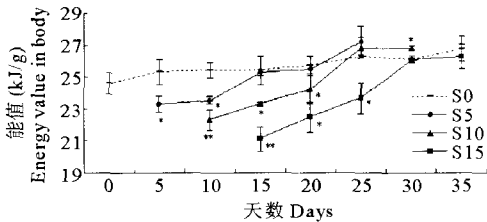
2.4.1 饥饿后再投喂对星斑川鲮鱼体中能值的影响

从图 10 可以看出,在整个实验过程中,对照组 S0 鱼体的能值呈现相对比较稳定,略有上升的趋势。各实验组在饥饿处理结束时均下降到一较低水平 ($S5 > S10 > S15$),差异均显著 ($P < 0.05$),其中 S10、S15 组达到极显著水平 ($P < 0.01$)。开始恢复投喂后,各实验组鱼体的能值均迅速上升, S5 组在恢复投喂的第 10 天赶上对

照组水平,差异不显著($P>0.05$),之后一直维持在接近对照组水平;S10、S15 组均在恢复投喂后的第 15 天赶上对照组水平,差异不显著($P>0.05$),之后均维持在接近对照组水平,直到实验结束。

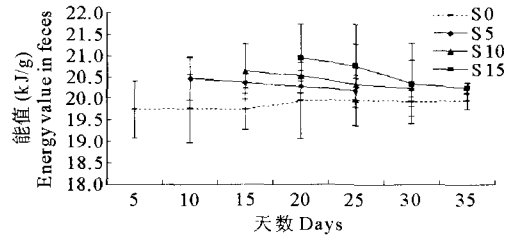
2.4.2 饥饿后再投喂对星斑川鲮粪便中能值的影响

从图 11 可以看出,在整个实验过程中,对照组 S0 粪便的能值维持在比较恒定的水平。各实验组在饥饿处理结束时,开始恢复投喂后的前 5d 的粪便的能值均略高于对照组水平,差异均不显著($P>0.05$)。随着恢复投喂时间的延长,各实验组粪便的能值均呈逐渐下降趋势。直到各实验组实验结束时,各实验组粪便的能值均达到接近且仍高于对照组水平,差异均不显著($P>0.05$)。



* 表示差异显著, $P<0.05$; ** 表示差异极显著, $P<0.01$
Significant difference, * $P<0.05$;
Highly significant difference, ** $P<0.01$
图 10 星斑川鲮鱼体能值的变化

Fig. 10 Variations of energy value in the body of *P. stellatus*



* 表示差异显著, $P<0.05$; ** 表示差异极显著, $P<0.01$
Significant difference, * $P<0.05$;
Highly significant difference, ** $P<0.01$
图 11 星斑川鲮粪便能值的变化

Fig. 11 Variations of energy value in the feces of *P. stellatus*

3 讨论

3.1 饥饿过程中星斑川鲮鱼体生化组成的变化

处于饥饿或食物不足状态下的鱼类代谢机能发生变化,并利用自身的贮存物质(糖类、脂肪和蛋白质)提供能量以维持生命,称为内源营养或自体营养。已有学者利用鱼体生物化学组成的变化来评价在饥饿胁迫情况下鱼类对内源物质的利用(沈文英等 1999;吴立新等 2000)。不同种类的鱼,由于食性、生活方式、摄食饵料质量和身体结构等差异,对饥饿的适应调节有所不同(王吉桥等 1993)。一般情况下,鱼类在饥饿开始后,基础营养物质发生分解,水分实际含量下降,但百分含量增加,糖类作为能量贮存物质首先在短时间内被分解,然后利用脂肪,对蛋白质的利用较少,而且一般是在脂肪被大量消耗以后(Ehrlich *et al.* 1976;谢小军等 1998)。

本次实验研究表明,饥饿期间星斑川鲮鱼体脂肪含量变化显著,随着饥饿时间的延长逐渐下降;饥饿 5d、10d 星斑川鲮鱼体蛋白质含量无显著变化,饥饿 15d 的星斑川鲮鱼体蛋白质含量有所下降。这与邓利等(2003)发现黑鲷白肌中脂肪含量在饥饿 2d 后就有所下降,但白肌蛋白质不变,15d 后蛋白质才显著降低;沈文英等(1999)发现草鱼 *Ctenopharyngodon idellus* 饥饿时主要消耗糖类和脂肪,蛋白质含量变化不明显的研究结果相一致。由此可见,在饥饿期间星斑川鲮与其他一些鱼类一样,主要利用脂肪提供能量以维持生命,但当饥饿时间进一步延长时,则需要动用蛋白质来提供能量。分析原因可能是,在短期饥饿期间(5d、10d)星斑川鲮动用糖原和脂肪提供能量就足以维持其基本生命活动,但当饥饿时间延长,即饥饿胁迫加重时糖原和脂肪继续被消耗,但到一定程度时仅仅依靠动用糖原和脂肪不足以满足其基本生命活动所需的能量,这时便开始动用蛋白质作为能源。这也与南方鲇 *Silurus meridionalis* 幼鱼、大西洋鲱 *Clupea harengus* 和欧洲鳗鲡 *Anguilla anguilla*, 在饥饿初期阶段主要消耗身体储存的糖原和脂肪,而随着饥饿时间的延长主要消耗蛋白质的实验结果相似(Larsson *et al.* 1973;张波等 2000;Wilkin 1967)。而张波等(2000)却发现真鲷 *Pagrosomus major* 在 20 °C 下饥饿 15d,体重下降 7.05%,鱼体水分含量略有上升,蛋白质含量有所下降,脂肪和灰分含量没有明显改变,这说明真鲷与其他很多鱼类存在较大差别,在受到饥饿胁迫时,主要是以蛋白质作为

能源物质。另外,饥饿期间星斑川鲮鱼体脂肪、蛋白质含量下降的同时,水分、灰分含量逐渐升高,分析其原因主要是由于饥饿时鱼体通过分解自身的贮能物质提供能量,机体内有机物含量减少,水分和无机物含量相对增加,致使水分和灰分含量呈上升趋势。这与南方鲇、草鱼、白鲫在饥饿期间的变化情况相似(王吉桥等 1993;谢小军等 1998;刁晓明等 1998)。众多研究表明,饥饿状态下,大多数鱼类鱼体生化成分的变化存在相似之处,即总的变化趋势是糖类、脂肪、蛋白质等物质减少,而水分、灰分含量上升,饥饿时间越长,其变化程度就越大。

3.2 再投喂过程中星斑川鲮鱼体生化组成的变化

饥饿处理结束开始恢复投喂后,鱼体生化组分的积储亦有所不同。Jobling 等(1980)认为处于补偿生长阶段的鱼与正常鱼在身体成分的合成上有所不同。虹鳟 *Salmo gairdneri* Richardson 主要是脂类含量增加(Dobson 1984);鲶 *Ictalurus punctatus* 主要是蛋白质和脂类含量同时升高(Miglvas *et al.* 1989);草鱼饥饿后再投喂,主要是脂类和糖类增加,蛋白质增加不明显。美国红鱼 *Sciaenops ocellatus*、真鲷和南方鲇饥饿后恢复正常投喂,身体的各生化组分在短期内均能恢复与正常组一样,饥饿处理不影响鱼体的营养质量(张波等 2000;姜志强等 2002;邓利等 1999)。

本实验研究表明,在恢复投喂期间,各饥饿处理组鱼体脂肪和蛋白质含量逐渐升高,其中鱼体脂肪含量在恢复投喂的第10或15天即达到或接近对照组水平,这与饥饿期间对贮能物质的动用顺序相似。可能是由于在饥饿期间首先动用了何处何种贮能物质便在恢复投喂时首先补偿该处该种物质,以便应对可能再次面临的饥饿胁迫。水分和灰分含量在恢复投喂期间逐渐降低,在实验结束时接近对照组水平。分析原因是恢复投喂后鱼体合成量增加,以致有机物含量增加,水分和灰分含量相对减少。

一般认为,在鱼类饥饿期间,当机体主要动用体内蛋白质作为能量物质时,体重损失率较大,将明显影响机体健康状况,并可能造成不可逆转的危害。但如果机体主要以消耗体内脂肪作为能量物质,则体重损失率较小,对机体的健康损害也较小,而且往往在饥饿后表现出较好的补偿生长效果。本次实验中,短期饥饿(5d、10d)的星斑川鲮主要以体内的脂肪作为能量物质,这样为其在恢复投喂后出现较好的补偿生长现象提供了可能。

3.3 星斑川鲮饥饿和再投喂过程中粪便生化组成的变化

本实验中饥饿处理结束,开始恢复投喂后,各实验组粪便中脂肪和蛋白质含量均高于对照组水平,之后随着投喂时间的延长,粪便中脂肪和蛋白质含量才逐渐下降,到实验结束时方接近对照组水平。结果显示,饥饿处理结束后的一段时间内,星斑川鲮对饵料中脂肪和蛋白质的利用率较低。这一结果说明星斑川鲮继饥饿后对饵料的利用上具有“滞后”效应,饥饿时间越长,高的饵料利用率越“滞后”。分析其原因可能是由于饥饿导致消化系统机能下降,需要一段时间才能恢复到正常水平。

3.4 星斑川鲮鱼体、粪便中能值的变化

本实验中饥饿处理结束时,各实验组鱼体中能值降低到最低水平,与对照组相比较,S5组差异显著($P < 0.05$),S10、S15组差异极显著($P < 0.01$)。这一结果恰好与鱼体生化组成中有机成分含量(主要是脂肪)变化趋势一致。这从另外一个侧面反映了饥饿处理对星斑川鲮鱼体内有机成分含量的影响。恢复投喂之后,鱼体内能值随着恢复时间的延长逐渐升高,到实验结束时均恢复到对照组水平。这一变化趋势与鱼体生化组成中有机成分含量变化趋势也相同。这又从能量的角度反映出星斑川鲮鱼体内生化组成在恢复投喂过程中的变化趋势。饥饿处理明显影响星斑川鲮在恢复喂食过程中粪便的能值。饥饿处理时间越长,星斑川鲮在恢复喂食的1~5d内粪便能值越高,且均高于对照组水平,随着恢复喂食时间的延长,粪便能值逐渐下降,恢复到对照组水平。粪便能值的变化直接反映出星斑川鲮对饵料的利用效率,饥饿降低了星斑川鲮恢复喂食初期对饵料中有机成分的利用效率,饥饿时间越长,恢复喂食初期的饵料利用率越低;随着恢复喂食时间的延长,饵料利用率逐渐恢复到对照组水平。说明星斑川鲮继饥饿后对饵料的利用上具有“滞后”效应,饥饿时间越长,高的饵料利用率越“滞后”。如果继续延长喂食时间,饵料利用率最终均会恢复到对照组水平。

参 考 文 献

- 刁晓明,阮少云.1998.饥饿状态下白鲫能量物质消耗的研究.重庆水产,45(4):20~23
- 王吉桥,毛连菊.1993.鲤、鲢、鳙、草鱼苗和鱼种饥饿致死时间的研究.大连水产学院学报,8(2):58~65
- 邓利,张为民.2003.饥饿对黑鲟血清生长激素、甲状腺激素以及白肌和肝脏脂肪、蛋白质含量的影响.动物学研究,24(2):94~98
- 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):167~173
- 王波,刘振华,孙丕喜,王宗灵,刘萍,滕照军.2008.星斑川鲮胚胎发育的形态观察.海洋学报,30(2):130~136
- 李迪,陈四清,刘志鸿,谭杰,庄志猛,张秀梅,刘长琳,常青.2009.星斑川鲮染色体核型分析.渔业科学进展,30(2):20~25
- 李思忠,王惠民.1995.中国动物志:硬骨鱼纲-鲮形目,1版.北京:科学出版社,91~255
- 沈文英,林浩然,张为民.1999.饥饿和再投喂对草鱼鱼种生物化学组成的影响.动物学报,45(4):404~412
- 吴立新,董双林.2000.水产动物继饥饿或营养不足后的补偿生长研究进展.应用生态学报,11(6):943~946
- 张波,孙耀,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
- 张波,谢小军.2000.南方鲇的饥饿代谢研究.海洋与湖沼,31(5):480~484
- 姜志强,贾泽梅,韩延波.2002.美国红鱼继饥饿后的补偿生长及其机制.水产学报,26(1):67~72
- 谢小军,邓利,张波.1998.饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展.水生生物学报,22(2):181~188
- Barash, H., Aharoni, Y., Broth, A. *et al.* 1998. Effects of low energy diets followed by a compensatory diet on body weight gain and plasma hormone concentrations in bull calves. Dairy Sci. 81:250~254
- Dobsn, S. H., and Holmes, R. M. 1984. Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. J. Fish Biol. 25(6): 649~656
- Ehrlich, K. F., Blaxter, J. H. S., and Pemberton, R. 1976. Morphological and histological changes during the growth and starvation of herring and plaice larvae. Mar. Biol. 35: 105~118
- Fraser, D. J., Weir, L. K., Darwish, T. L., Eddington, J. D., and Hutchings, J. A. 2007. Divergent compensatory growth responses within species: linked to contrasting migrations in salmon? *Oecologia*, 153: 543~553
- Hervant, F., Mathieu, J., Barre', H., and Pinon, C. 1997. Comparative study on the behavioral, ventilatory, and respiratory responses of hypogean and epigean crustaceans to long-term starvation and subsequent feeding. Comp. Biochem. Physiol. Part A: Physiol. 118(4): 1 277~1 283
- Hornick, J. L., Van Eenaeme, C., Gérard, O., Dufrasne, L., and Istasse, L. 2000. Mechanisms of reduced and compensatory growth. Domestic-Animal Endocrinology, 19(2): 121~132
- Jobling, M. 1980. Effects of starvation on proximate chemical composition and energy utilization of plaice, *Pleuronectes platessa* L. Fish Biol. 17: 325~334
- Jobling, M. 2001. Nutrient partitioning and the influence of feed composition on body composition// D. Houlihan, T. Boujard, M. Jobling, eds. Food Intake in Fish. Oxford Blackwell Science, 354~375
- Larsson, A., and Lewander, K. 1973. Metabolic effects of starvation in the eel, *Anguilla anguilla* L. Comp. Biochem. Physiol. (44):367~374
- Metcalfe, N. B., and Monaghan, P. 2001. Compensation for a bad start: grow now, pay later? Trends Ecol. Evol. 166: 254~260
- Miglvás, I., and Jobling, M. 1989. The effects of feeding regime on proximate body composition and patterns of energy deposition in juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. Fish Biol. 35: 1~11
- Mikami, S., Greenwood, J. G., and Gillespie, N. C. 1995. The effect of starvation and feeding regimes on survival, intermoult period and growth of cultured *Panulirus japonicus* and *Thenus* sp. Phyllosomas (Decapoda: Palinuridae and Scyllaridae). Crustaceana, 68(2): 160~169
- Mito, S. 1963. Pelagic fish eggs from Japanese waters-IX Echeineida and Pleuronectida. Jpn. J. Ichthyol. 11(316): 81~102
- Neilson, J. S. 1994. Fishes of the world. 3rd ed. Toronto: John Wiley & Sons Inc. 105~106
- Policansky, D., and Sieswerda, P. 1979. Early life history of the starry flounder, *Platichthys stellatus*, reared through metamorphosis in the laboratory. Transactions of the American Fisheries Society, 108(3): 326~327
- van Dijk, P., Staaks G, and Hardewig, I. 2002. The effect of fasting and refeeding on temperature preference, activity and growth of roach, *Rutilus rutilus*. *Oecologia*, 130(4): 496~504
- Vidal, E. A. G., DiMarco, P., and Lee, P. 2006. Effects of starvation and recovery on the survival, growth and RNA/DNA ratio in loliginid squid paralarvae. Aquaculture, 260(1-4): 94~105
- Wilkin, N. P. 1967. Starvation of herring, *Clupea harengus* L. survival and some gross biochemical changes. Comp. Biochem. Physiol. 23: 503~518
- Wu, L., Dong, S., Wang, F. *et al.* 2000. Compensatory growth response following periods of starvation in Chinese shrimp, *Penaeus chinensis* Osbeck. Shellfish Res. 19: 717~722
- Yusa, T. 1957. Eggs and larvae of flatfishes in the coastal waters of Hokkaido; I. Embryonic development of the starry flounder *Platichthys stellatus*. Bulletin of the Hokkaido Regional Fisheries Research Laboratory, 3pls(15): 1~14