

饥饿与再投喂对黑鲷幼鱼体质量变化、生化组成及肝脏消化酶活性的影响

龙章强¹, 彭士明¹, 陈立侨¹, 刘超¹, 张伟¹, 王玥¹, 叶金云²

(1. 华东师范大学 生命科学学院, 上海 200062; 2. 浙江省淡水水产研究所, 浙江 湖州 313001)

摘要: 在室内水温 23~26 °C 的条件下, 分别对黑鲷 (*Acanthopagrus schlegeli*) 幼鱼进行不同时间的饥饿 (0 d、3 d、5 d、10 d、15 d、20 d) 处理和饥饿 20 d 后的恢复投喂 (3 d、5 d、10 d、15 d) 实验, 每个处理组各设 3 个重复, 分别测定其体质量、肥满度、肝体指数、肌肉与血清主要生化组成以及肝脏消化酶活性的变化。结果表明: 1) 在饥饿过程中, 黑鲷幼鱼体质量、肥满度、肝体指数均显著性下降 ($P < 0.05$); 恢复投喂后, 三者均有不同程度的恢复。2) 肌肉脂肪含量在饥饿 3 d 时即表现出下降趋势, 但在随后的饥饿时间里, 肌肉脂肪含量的下降趋势并不明显 ($P > 0.05$), 而肌肉蛋白含量在饥饿 5 d 以内也无明显的变化, 至 10 d 时才出现显著性的降低。但随着饥饿时间的延长, 肌肉蛋白含量均显著降低 ($P < 0.05$)。恢复投喂第 10 天时, 肌肉中的各项生化指标基本恢复至饥饿前水平。由此推测, 饥饿胁迫下黑鲷是先动用了体组织的脂肪, 而后再利用蛋白质且主要靠消耗蛋白质来满足维持生命活动所需的能量。3) 血清中总蛋白、血糖、甘油三酯、胆固醇在饥饿阶段显著下降 ($P < 0.05$), 恢复投喂第 5 天时, 各指标均已基本回升到饥饿前水平。相比之下, 血糖水平的恢复较快, 随后逐渐趋于平稳。4) 肝脏中类胰蛋白酶和脂肪酶的活性在饥饿阶段呈上升趋势, 恢复投喂后则有所下降。淀粉酶活力在饥饿过程中呈下降趋势, 恢复投喂后有所回升, 但在整个实验期间淀粉酶活性并无显著性的变化 ($P > 0.05$)。[中国水产科学, 2008, 15 (4): 606–614]

关键词: 黑鲷; 饥饿; 再投喂; 生化组成; 消化酶

中图分类号: S96

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2008)04-0606-09

由于气候与环境条件的变化, 鱼类在自然环境中, 经常会在一定的阶段 (如越冬期间) 面临食物匮乏而受到饥饿的胁迫。已有研究表明, 大多数鱼类能忍受一定时间的饥饿, 而不同的鱼类耐受饥饿的能力、对饥饿的适应方式以及补偿生长的程度也不尽相同^[1-4]。饥饿和再投喂方式可以提高红点鲑 (*Salvelinus alpinus*)^[5]、大西洋鲑 (*Salmo salar* L.)^[6]、斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*)^[7]、金头鲷 (*Sparus aurata*)^[8]、长颌须鱼 (*Phoxinus phoxinus*)^[9]、银鲫 (*Carassius auratus*)^[10-11]、施氏鲟 (*Acipenser schrenckii*)^[12]、金鲳 (*Oneorhynchus mykiss*)^[13] 等的食物转化效率、生长率, 降低饲料系数等。因此开展鱼类饥饿与补偿代谢生理的研究在学术和应用上都有着重要的价值。

黑鲷 (*Acanthopagrus schlegeli*) 在中国近海均有分布^[14]。黑鲷肉质鲜美, 是名贵的海产鱼类之一,

该鱼因生长快, 食性广, 耐盐性和广温性, 易饲养, 抗病力强, 是海水和咸淡水增养殖的优良品种^[15]。迄今为止, 有关黑鲷饥饿生理方面的研究, 仅见邓利等^[16]对黑鲷在饥饿过程中的血清生长激素、甲状腺激素以及白肌和肝脏脂肪、蛋白质含量进行了分析, 而从体质量变化、肌肉营养成分、血液生化组成及肝脏消化酶活性多个方面来探讨黑鲷在饥饿与再投喂过程中的生理学反应至今尚未见报道。为此, 本研究测定了饥饿与恢复投喂对黑鲷幼鱼体质量、肥满度、肝体指数、肌肉的生化组成, 血清生化组成, 综合分析了饥饿对黑鲷幼鱼的影响, 通过分析饥饿和再投喂后鱼体的营养状况以及肝脏中 3 种消化酶 (类胰蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶) 活性的变化, 研究该鱼适应饥饿胁迫 (如越冬过程) 及恢复摄食的对策, 以期丰富黑鲷的饥饿代谢生理学研究并可为其健康养殖提供基础资料。

收稿日期: 2007-12-14; **修订日期:** 2008-01-04.

基金项目: 浙江省科技重大项目 (2002C12016).

作者简介: 龙章强 (1982-), 男, 硕士研究生, 主要从事水产动物营养生理学研究. E-mail: lzq82@163.com

通讯作者: 陈立侨 (1962-), 男, 教授, 主要从事水产动物营养和种质遗传学研究. Tel: 021-62233637; E-mail: lqchen@bio.ecnu.edu.cn

叶金云 (1962-), 男, 教授级高工. Tel: 0572-2043909; E-mail: zjff@mail.huptt.zj.cn

1 材料与方法

1.1 材料

黑鲷取自舟山华兴种苗养殖场,选取体质健壮且规格相近的黑鲷幼鱼,体质量 (25 ± 1) g。实验开始前,于养殖池驯养1周,然后随机将鱼分入6个500 L黑色饲养桶中,每桶30尾。水温 $23 \sim 26$ °C,盐度 $26 \sim 28$, 24 h 充气增氧,确保溶氧高于 6 mg/L。实验前和再投喂阶段,每天 8:00 投喂商业饲料(蛋白含量为 40%,脂肪含量为 8%) 1 次,达到饱食状态。每天换水 2 次,日换水量超过 100% 水体。

1.2 实验设计及样品采集

根据邓利等^[16]的研究,确定饥饿时间为 20 d,以避免黑鲷在本实验水温条件下饥饿阶段出现病理变化。实验共有 6 个饲养桶,其中 3 个桶作为饥饿阶段(实验第 0~20 天)取样;另外 3 个桶持续饥饿 20 d,然后对其恢复投喂饲料,作为饥饿 20 天后的再投喂阶段(实验第 23~35 天)取样。

分别在饥饿(S)0 d、3 d、5 d、10 d、15 d、20 d 和饥饿 20 d 后的再投喂(RF)3 d、5 d、10 d、15 d 时取样,每次取样时每桶随机取 4 尾,每个处理组共 12 尾鱼,经 MS-222 麻醉后分别称重和测量体长,尾静脉取血,于 4 °C 放置 12 h 后离心取血清,然后解剖取其肝脏和背肌样品,肝脏经准确称量后与肌肉样品于 -70 °C 冰箱保存待测。

1.3 测定方法

各指标计算公式如下列所示:

肥满度 $= 100 \times \text{体质量} / \text{体长}^3$

肝脏指数 $= 100 \times \text{肝质量} / \text{鱼体质量}$

式中,肥满度单位为 g/cm^3 ,体质量单位为 g,体长单位为 cm,肝质量和鱼体质量单位均为 g。

肌肉样品中水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分的测定分别采用 105 °C 常压干燥法、凯氏定氮法 $(6.25 \times \text{N})$ 、索氏抽提法(以乙醚为抽提剂)和 550 °C 灼烧法。血清中的主要指标采用美国 Beckman 生化分析仪测定,肝脏中的类胰蛋白酶采用 Forlin- 酚测酪氨酸法,脂肪酶、淀粉酶采用南京建成的试剂盒测定。

类胰蛋白酶单位定义为,在 30 °C 条件下,每毫克组织蛋白每分钟水解干酪素产生 $1 \mu\text{g}$ 酪氨酸作为一个酶活力单位(U/mg prot)。

脂肪酶单位定义为,在 37 °C 条件下,每克组织蛋白在本反应体系中与底物反应 1 min,每消耗

$1 \mu\text{mol}$ 底物为一个酶活力单位(U/g prot)。

淀粉酶单位定义为,在 37 °C 条件下,每毫克组织蛋白与底物作用 30 min,水解 10 mg 淀粉定义为 1 个淀粉酶活力单位(U/mg prot)。

1.4 数据处理

数据结果以平均值 $\pm$ 标准误($\bar{X} \pm \text{SE}$)表示,实验结果用 SPSS11.0 软件包进行统计与分析,采用单因素方差分析,用 Duncan 检验进行多重比较, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 饥饿与再投喂对黑鲷幼鱼体质量、肥满度及肝脏指数的影响

饥饿与再投喂对黑鲷幼鱼体质量变化的影响如图 1 所示。从图 1 可以看出,在饥饿处理中,随着饥饿天数的延长,黑鲷幼鱼的体质量呈明显下降趋势,停喂至 20 d 时,鱼的平均体质量降至 18.41 g,为实验初始体质量 25.55 g 的 72.05%。统计分析表明,饥饿 3 d、5 d 鱼的体质量与实验初没有显著性差异($P > 0.05$);饥饿 10 d、15 d 和 20 d 后,体质量分别下降至 21.55 g、20.23 g 和 18.41 g,均显著低于实验初始体质量($P < 0.05$)。恢复投喂后,黑鲷幼鱼的体质量、肥满度明显上升,恢复投喂至 5 d 后,其体质量增加幅度明显提高,至再投喂 10 d 时,体质量增加至 26.37 g,已超过了实验前的水平;恢复至投喂 15 d 时,鱼的体质量达到 31.55 g,显著高于实验前的体质量($P < 0.05$)。其中,恢复投喂 3 d、5 d 的鱼体质量没有显著差异($P > 0.05$),但与恢复投喂 10 d 和 15 d 的鱼有显著性差异,后两者之间也有显著性差异($P < 0.05$)。

在饥饿处理组中,随着饥饿天数的增加,黑鲷幼鱼的肥满度呈下降趋势,饥饿 10 d、15 d、20 d 的鱼体肥满度与实验初有显著性差异($P < 0.05$),饥饿 20 d 后鱼体肥满度降到整个实验期内的最低值,且显著低于实验初及饥饿 3 d、5 d、10 d 时的水平($P < 0.05$),见图 2。恢复投喂后,鱼体肥满度随投喂时间的延长逐渐提高,至 5 d 时已基本恢复至饥饿前的水平,但是随着再投喂天数的继续增加鱼体的肥满度并无显著性的变化($P > 0.05$)。

图 3 展示了饥饿与再投喂过程中黑鲷幼鱼肝体比的变化。从图 3 可以看出,黑鲷在饥饿过程中,随饥饿时间的延长肝体比呈下降趋势,在饥饿 20 d 时,肝体比下降到最低点 2.58,且显著低于实验初

的 3.42 和饥饿 3 d 时的 3.40 ($P < 0.05$)。恢复投喂过程中,肝体比很快回升并在恢复投喂 3 d 时已恢复至饥饿前的水平,恢复投喂 10 d 时肝体比达最大值 4.36,且显著高于饥饿前水平 ($P < 0.05$),随后虽略有下降,但仍高于实验前水平。

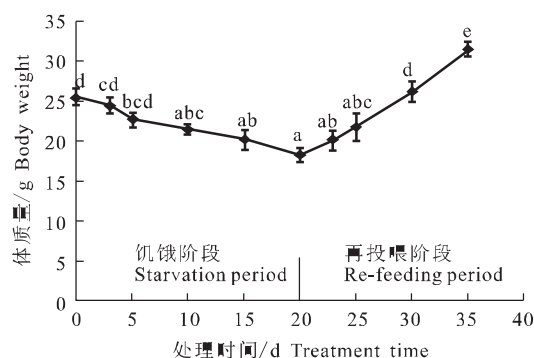


图1 饥饿与再投喂过程中黑鲷幼鱼平均体质量的变化

不同小写字母表示不同处理时间有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Fig.1 Changes of weight of juvenile black seabream during starvation and re-feeding

Significant differences between different treatment time are shown as different small letters ($P < 0.05$).

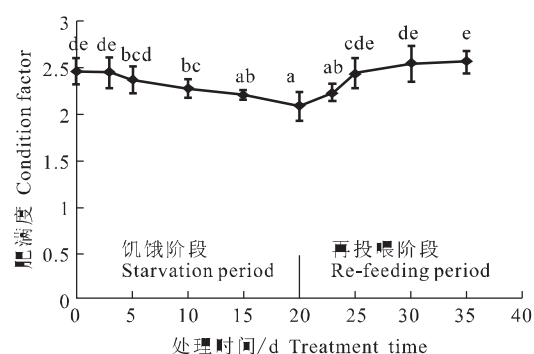


图2 饥饿与再投喂过程中黑鲷幼鱼肥满度的变化

不同小写字母表示不同处理时间有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Fig.2 Changes of condition factor of juvenile black seabream during starvation and re-feeding

Significant differences between different treatment time are shown as different small letters ($P < 0.05$).

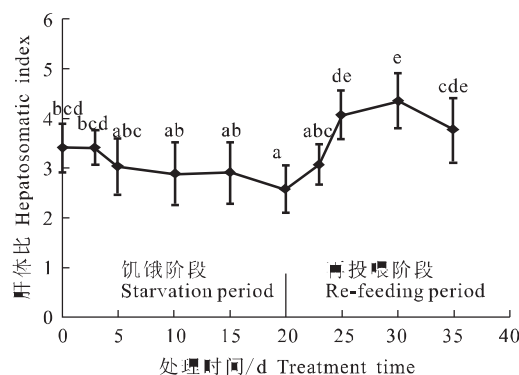


图3 饥饿与再投喂过程中黑鲷幼鱼肝体比的变化

不同小写字母表示不同处理时间有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Fig.3 Changes of hepatosomatic index of juvenile black seabream during starvation and re-feeding

Significant differences between different treatment time are shown as different small letters ($P < 0.05$).

2.2 饥饿与再投喂对黑鲷幼鱼肌肉主要生化组成的影响

从表1可以看出,在饥饿过程中,肌肉的水分含量有上升的趋势,且在饥饿 20 d 时肌肉水分含量达最大值 (83.09%),与饥饿 0 d、3 d、5 d、10 d、15 d 时相比均有显著性差异 ($P < 0.05$)。而恢复投喂后,水分则呈下降趋势,恢复投喂 10 d 时肌肉水分含量已基本恢复至饥饿前水平,且再投喂 10 d 与 15 d 时,肌肉水分含量与实验前水平均无显著性差异 ($P > 0.05$)。饥饿过程中,肌肉中的蛋白质含量呈下降趋势,从饥饿前的 15.99% 下降到饥饿 20 d 时的 12.37% ($P < 0.05$)。

恢复投喂后,蛋白含量逐渐回升,且在恢复投喂 15 d 时上升到 16.57%,已高于饥饿 0 d 时的蛋白含量。在饥饿过程中,肌肉中脂肪含量在饥饿 3 d 时脂肪含量为 1.39%,比实验初的 1.50% 有所下降,而在随后的饥饿时间里肌肉脂肪含量的下降趋势并不明显;再投喂后,脂肪含量有上升的趋势,但各取样时间点之间没有显著性差异 ($P > 0.05$)。肌肉中灰分的变化跟蛋白质的变化相似,饥饿 15 d 和饥饿 20 d,分别从实验初的 1.44% 下降至 1.24%、1.26%,与实验初有显著性差异 ($P < 0.05$),恢复投喂后灰分含量有上升趋势,恢复投喂 10 d 与 15 d 时的灰分含量分别为 1.30% 与 1.32%,均显著高于再投喂 3 d 与 5 d 时的水平 ($P < 0.05$)。

表 1 饥饿与再投喂过程中黑鲷幼鱼肌肉主要生化组成的变化

Tab.1 Changes of main biochemical composition of muscle in juvenile black seabream during starvation and re-feeding $\bar{X} \pm SE; \%$

处理时间 Treatment time	水分 Moisture	蛋白质 Protein	脂肪 Lipid	灰分 Ash
S0	79.29±0.36 ^{ab}	15.99±0.05 ^{ef}	1.50±0.15	1.44±0.02 ^f
S3	79.20±0.17 ^{ab}	16.11±0.03 ^f	1.39±0.10	1.35±0.01 ^{de}
S5	80.42±0.69 ^{abc}	15.44±0.09 ^{de}	1.58±0.03	1.41±0.01 ^{ef}
S10	80.76±0.42 ^{bcd}	14.72±0.34 ^c	1.48±0.05	1.36±0.02 ^{def}
S15	81.84±0.34 ^{cd}	13.46±0.08 ^b	1.49±0.21	1.24±0.05 ^{ab}
S20	83.09±1.23 ^e	12.37±0.02 ^a	1.51±0.07	1.26±0.03 ^{abc}
RF3	82.74±0.44 ^{ce}	12.90±0.16 ^{ab}	1.32±0.66	1.22±0.02 ^a
RF5	82.77±1.70 ^{ce}	13.28±0.03 ^b	1.45±0.05	1.24±0.02 ^{ab}
RF10	79.76±1.39 ^{ab}	15.31±.14 ^{cd}	1.61±0.03	1.30±0.01 ^{bcd}
RF15	78.08±0.11 ^a	16.57±0.31 ^f	1.70±0.18	1.32±0.02 ^{cd}

注: 1. S 表示饥饿, 数字表示饥饿的天数; RF 表示再投喂, 数字表示再投喂的天数; 2. 同一列数字上标识的不同字母表示组间有显著性差异 ($P < 0.05$).

Note: 1. S stands for starvation and the figure means days of starvation; RF stands for re-feeding treatment and the figure means days of re-feeding; 2. Within the same column, values with different superscripts mean significant difference ($P < 0.05$).

2.3 饥饿与再投喂对黑鲷幼鱼血清主要生化组成的影响

在饥饿过程中, 黑鲷血清中的总蛋白、血糖、甘油三酯、胆固醇均有显著下降 (表 2), 总蛋白从实验前的 24.00 g/L 下降到饥饿 20 d 时的 15.00 g/L ($P < 0.05$)、血糖从实验前的 4.53 mmol/L 下降到饥饿 20 d 的 1.76 mmol/L ($P < 0.05$)、甘油三酯从 5.48 mmol/L 下降到 1.59 mmol/L ($P < 0.05$)、胆固醇

则从 9.31 mmol/L 下降到 2.52 mmol/L ($P < 0.05$)。当恢复投喂后, 血清中总蛋白、胆固醇和甘油三酯水平均比饥饿 20 d 时的水平显著升高, 且在恢复投喂 5 d 时均已基本恢复至实验前水平。而血糖在恢复投喂 3 d 时就已经恢复至实验前的水平, 随后又略有下降和波动, 但与实验前 (0 d) 及再投喂 3 d 时无显著性差异 ($P > 0.05$)。

表 2 饥饿与再投喂过程中黑鲷幼鱼血清主要生化组成的变化

Tab.2 Changes of main biochemical composition of serum in juvenile black seabream during starvation and re-feeding $\bar{X} \pm SE$

处理时间 Treatment time	总蛋白 / (g·L ⁻¹) Total protein	血糖 / (mmol·L ⁻¹) Glucose	甘油三酯 / (mmol·L ⁻¹) Triglyceride	胆固醇 / (mmol·L ⁻¹) Cholesterol
S0	24.00±1.00 ^d	4.53±0.62 ^c	5.48±0.31 ^d	9.31±0.39 ^d
S3	22.00±1.52 ^{cd}	4.67±1.47 ^c	4.08±0.25 ^c	8.77±0.97 ^d
S5	20.00±0.57 ^{bc}	4.03±0.49 ^c	3.44±0.65 ^{bc}	6.46±0.66 ^c
S10	19.33±1.33 ^{bc}	3.70±0.44 ^{bc}	2.46±0.53 ^{ab}	4.88±0.24 ^{bc}
S15	18.33±0.67 ^b	2.10±0.10 ^{ab}	1.88±0.44 ^a	4.55±0.45 ^b
S20	15.00±0.58 ^a	1.76±0.41 ^a	1.59±0.29 ^a	2.52±0.58 ^a
RF3	19.00±1.00 ^{bc}	4.67±0.12 ^c	2.66±0.23 ^{ab}	4.98±0.59 ^{bc}
RF5	27.67±1.33 ^e	4.13±0.28 ^c	5.45±0.70 ^d	9.01±0.33 ^{de}
RF10	31.00±1.00 ^f	4.23±0.50 ^c	6.93±0.54 ^e	10.59±0.35 ^{ef}
RF15	31.00±0.58 ^f	3.87±0.18 ^{bc}	6.73±0.17 ^e	11.14±0.36 ^f

注: 1. S 表示饥饿, 数字表示饥饿的天数; RF 表示再投喂, 数字表示再投喂的天数; 2. 同一列数字上标识的不同字母表示组间有显著性差异 ($P < 0.05$).

Note: 1. S stands for starvation and the figure means days of starvation; RF stands for re-feeding treatment and the figure means days of re-feeding; 2. Within the same column, values with different superscripts indicates significant difference ($P < 0.05$).

2.4 饥饿与再投喂对黑鲷幼鱼肝脏消化酶活性的影响

饥饿和再投喂对黑鲷肝脏类胰蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性的影响如表3所示,从表3可以看出,整个饥饿和再投喂过程中,各取样时间点鱼的类胰蛋白酶和淀粉酶在虽未达到显著性差异的水平 ($P > 0.05$),但在饥饿过程中,类胰蛋白酶活

力呈升高趋势,其活力从饥饿10 d的0.53 U/mg prot逐渐升高到饥饿15 d时的0.69 U/mg prot,之后,饥饿至20 d时,又升高到0.97 U/mg prot。当恢复投喂3 d后,类胰蛋白酶活力有比较明显的回调,为0.55 U/mg prot,但仍稍高于实验前时酶的活力,随后又呈一定的升高趋势。

表3 饥饿和再投喂过程中黑鲷幼鱼肝脏消化酶活性的变化
Tab.3 Changes of digestive enzyme activity of liver in juvenile black seabream during starvation and re-feeding
 $\bar{X} \pm SE$

处理时间 Treatment time	类胰蛋白酶 / (U·mg ⁻¹ prot) Trypsinase	脂肪酶 / (U·g ⁻¹ prot) Lipase	淀粉酶 / (U·mg ⁻¹ prot) Amylase
S0	0.53±0.03	20.23±1.10 ^{ab}	3.44±0.04
S3	0.56±0.15	19.40±0.20 ^a	3.22±0.15
S5	0.49±0.02	23.54±0.89 ^{cd}	2.74±0.04
S10	0.53±0.06	24.15±0.24 ^{cd}	2.47±0.26
S15	0.69±0.14	31.15±1.20 ^f	2.30±0.05
S20	0.97±0.05	27.71±0.22 ^e	2.10±0.12
RF3	0.55±0.03	23.14±0.10 ^{bc}	2.99±0.31
RF5	0.59±0.07	26.17±0.72 ^{de}	3.21±0.07
RF10	0.67±0.21	21.37±0.98 ^{abc}	3.38±0.05
RF15	0.86±0.19	22.77±1.30 ^{bc}	3.47±0.04

注:1. S表示饥饿,数字表示饥饿的天数;RF表示再投喂,数字表示再投喂的天数;2. 同一列数字上标识的不同字母表示组间有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Note: 1. S stands for starvation and the figure means days of starvation, RF stands for re-feeding treatment and the figure means days of re-feeding; 2. Within the same column, values with different superscripts means significant difference ($P < 0.05$).

在饥饿过程中脂肪酶活力也呈升高的趋势,饥饿15 d时达到31.15 U/g prot,酶活性显著高于实验前水平 ($P < 0.05$)。恢复投喂后,脂肪酶活性逐渐下降,到再投喂10 d后,酶活力下降至21.37 U/g prot,与实验前的20.23 U/g prot没有显著性差异 ($P > 0.05$),之后的各取样时间点均维持在一个稍高于饥饿前时的活力状态。

在饥饿过程中,黑鲷肝脏淀粉酶活力呈下降趋势,但各取样时间点之间并没有显著性差异 ($P > 0.05$),从实验前的3.44 U/mg prot下降到饥饿20 d时的2.10 U/mg prot。当恢复投喂后,淀粉酶活力则呈逐渐上升趋势,在恢复投喂15 d时,其活力上升到了3.47 U/mg prot,基本恢复到实验前的水平。

3 讨论

3.1 饥饿与再投喂对黑鲷幼鱼体质量、肥满度、肝体比及肌肉中主要生化组成的影响

饥饿状态下,鱼类不能从水环境中获得必要的

物质和能量,只能被迫动用自身的营养物质来满足机体的能量代谢和维持生命活动所需。体质量、肥满度和肝体指数在一定程度上可以反映鱼类在饥饿过程中对自身营养物质的消耗,以及恢复投喂后机体对食物的利用和营养物质的积累^[7-8,12]。不同的鱼对饥饿的耐受性和适应性均不同^[1,10],因此,体质量等相关参数的变化也将不同。虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 在7~11 °C饥饿32 d,其体质量、肝重呈明显的下降趋势^[17]。而太平洋鲑鱼 (*Oncorhynchus spp.*) 在15.5 °C下饥饿32 d后,其体质量仅呈现稍微的下降^[18]。本实验显示,在23 °C水温条件下,黑鲷幼鱼饥饿3 d、5 d其体质量与实验初没有显著性差异,随着饥饿天数的增加,幼鱼的体质量呈明显的下降趋势。恢复投喂后,黑鲷幼鱼的体质量则明显上升,再投喂5 d后,其恢复生长速度明显加快,至第10天时,体质量就超过了实验前的水平;到再投15 d时,已显著高于实验前水平;另外,黑鲷的肥

满度肝体指数从饥饿 0 d 到饥饿 20 d, 一直呈稳定下降趋势, 提示黑鲷在饥饿过程中对自身营养物质的消耗程度会逐步加剧, 但在恢复投喂后, 鱼体的体质量、肥满度及肝体指数等均能在相对较短的时间内得到恢复。

饥饿条件下鱼体质量及相应的肥满度、肝体指数变化的实质是对自身物质和能量的消耗和利用, 故鱼体的生化组成是衡量鱼体营养状况的一个生理指标^[3-4, 12]。从已有的报道来看, 多数水产动物饥饿时首先动用体内储存的糖原和脂肪, 然后才消耗蛋白质。如草鱼 (*Ctenopharyngodon inellus*)^[19]、欧洲鳗鲡 (*Anguilla japonica*)^[20]、花羔红点鲑 (*Salvelinus malma*)^[21]、大西洋鳕 (*Cadus morhua*) 及狗鱼 (*Esox lucius*)^[22] 等。在本实验中, 黑鲷在饥饿 3 d 时, 肌肉脂肪含量从实验前 1.50% 下降到 1.39%, 但在随后的饥饿阶段并没有显著性的下降趋势; 相应地, 肌肉蛋白质含量到饥饿 3 d 时才开始下降, 且随着饥饿时间的延长蛋白质含量显著降低, 饥饿 20 d 时, 肌肉蛋白质含量从饥饿 3 d 时的 16.11% 下降至 12.37%, 显著低于饥饿处理各组。由此可推测, 黑鲷在饥饿过程中首先利用了脂肪, 随后再利用蛋白质并主要靠消耗机体的蛋白质来维持饥饿状态下的能量所需。邓利等^[16] 对黑鲷的研究也得出了相同的结果, 支持本研究结论。另外, 对牙鲆 (*Paralichthys olivaceus* L.)^[23] 和杂交鲟 (*Huso huso* Linnaeus × *Acipenser baeri* Brandt) 仔鱼^[24] 的研究结果也表明, 此 2 种鱼在饥饿初期主要将脂肪作为优先利用的能源, 当饥饿时间持续一段时间后才动用机体组织蛋白。但是也有少数鱼类, 在饥饿胁迫下主要利用蛋白质来维持机体的生命活动, 如鲑鳟鱼类^[25-26]。此外, 张波^[3] 在对真鲷 (*Pagrosomus major*) 的研究中发现, 真鲷幼鱼在饥饿过程中主要是消耗蛋白质作为身体的能量来源。沈文英等^[27] 同样发现白鲫 (*Carassius auratus cuvieri*) 在饥饿初期脂肪不被动用或消耗量较少, 而对蛋白的动用较多, 但随着饥饿时间的延长, 脂肪也将作为机体维持正常生命活动的主要的供能物质。由此说明鱼类在饥饿的过程中, 所动用能源物质的先后顺序因种类的不同而异。

3.2 饥饿与再投喂对黑鲷幼鱼血清中主要生化组成的影响

鱼类的血液生理生化指标被广泛地用来反映鱼类机体的新陈代谢水平和生理状况^[28-31]。血糖

对维持动物正常的生命活动具有重要的作用, 正常情况下, 动物体内有一套灵敏的自我调节机制, 以维持血糖浓度的恒定^[28]。钱云霞等^[29] 在对养殖鲈 (*Laterolabrax japonicus*) 的饥饿研究中指出, 鲈的血糖浓度对饥饿比较敏感, 饥饿第 1 周后血糖就下降为正常值的 42.9%, 接下来的几周虽略有下降但能维持在相对恒定的水平, 这是机体内的糖异生作用有所加强所致。杨文鸽等^[28] 发现养殖鳊鲢血糖含量在停饵 4 d 后下降, 但在停饵 8 d 时有所回升, 之后一直维持较恒定水平。机体提高血糖水平有如下 2 个主要途径: 1) 由非糖物质转变为葡萄糖或糖原的糖异生作用有所加强; 2) 机体为维护血液系统的稳定, 必要时会减少对血糖的利用, 而增加动用体内储存的肝糖原。本实验结果显示, 黑鲷血糖含量在饥饿 3 d 后始终呈下降趋势, 但直到饥饿 15 d 时才达到显著降低的水平, 其中原因可能与黑鲷糖异生作用一定程度的提高有关。如红鳍笛鲷 (*Lutjanus erythropterus*) 在饥饿过程中, 血糖浓度随着饥饿时间增加呈下降趋势, 在饥饿过程中也并没有明显的回升^[30], 与本研究的结果是一致的。本实验结果还显示, 饥饿过程中, 总蛋白、甘油三酯和胆固醇均呈明显下降趋势, 与实验前均有显著性差异, 说明黑鲷在饥饿过程中大量动用这些物质来进行基本的生活活动, 同样, 陈晓耘^[31] 研究发现, 南方鲇 (*Silurus meridionalis* Chen) 在饥饿 15 d 后, 其总蛋白、血糖、甘油三酯和胆固醇分别下降了 17.8%、69.2%、50.0% 和 33.7%, 与实验前都具有显著性差异。此外, 本实验中, 血清中总蛋白、血糖、甘油三酯和胆固醇这 4 个指标在饥饿过程中出现显著降低的时间顺序不同, 其中甘油三酯和胆固醇在饥饿 3 d 时出现显著性降低, 总蛋白在饥饿 5 d 时出现显著降低, 而血糖则在饥饿 15 d 时才出现显著降低, 这在一定程度上反映了黑鲷在饥饿过程中对组织中有关营养物质利用的先后顺序, 与前面讨论鱼体肌肉生化成分的变化是一致的。

3.3 饥饿与再投喂对黑鲷幼鱼肝脏消化酶活性的影响

当受到饥饿胁迫时, 不同的鱼类会采取自身相应的策略, 同时其机体组分变化也将作出相应的响应^[32]。肝脏是生物体内最大的消化腺, 也是体内的新陈代谢中心。肝脏在蛋白质、糖、脂类、维生素等物质代谢中均起着重要的作用。研究消化酶 (特别是蛋白酶、脂肪酶及淀粉酶等 3 大消化酶) 有助

于了解鱼类在饥饿和再投喂过程中的营养生理代谢。已有的研究资料表明,在饥饿过程中,同一类型消化酶在不同组织中活力变化规律也有所不同,如大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 蛋白酶活力在饥饿过程中从开始到第3天胃蛋白酶活力上升,第10天开始下降,幽门盲囊蛋白酶活力在第10天之后持续下降,肠道蛋白酶活力一直呈下降趋势,饥饿过程中,肝脏、胃淀粉酶的活力均呈下降趋势^[33]。钱云霞^[32]发现饥饿对鲈各部位蛋白酶活力均有显著影响,在饥饿1周后,各部位(胃、盲囊、肝和肠道)的蛋白酶活力显著低于未饥饿组,饥饿3周、4周时虽有持续下降的趋势,但与饥饿2周时相比差异不显著,其中肝脏的蛋白酶活力下降速度最快。而本实验中,黑鲷在饥饿后,肝脏中类胰蛋白酶和脂肪酶都有上升的趋势,其中,饥饿20 d时类胰蛋白酶活力几乎是实验前的2倍,而恢复投喂后酶活性即出现回落。淀粉酶在饥饿阶段是逐渐下降的,恢复投喂后则有所回升,但整个饥饿与再投喂过程中,淀粉酶活性的变化幅度均没有达到显著水平。可能的原因是,(1) 黑鲷是偏肉食性鱼类,在饥饿过程中,黑鲷主要是通过提高蛋白酶和脂肪酶活力来促进对机体蛋白质和脂肪的利用,以满足自身的生命活动所需。表明黑鲷在一定时间的饥饿过程中,主要是利用蛋白质和脂肪来维持基础代谢和生命活动。(2) 是鱼类的一种自我调节机制,当遭遇饥饿胁迫时,鱼体将提高组织中的相关酶活力,一旦环境中的食物得到补充时,机体才能更有效地利用外源的食物^[34]。此外,实验结果还发现,黑鲷在恢复投喂后肝脏中类胰蛋白酶和脂肪酶活性一直处在较高的水平,均高于饥饿前水平,提示黑鲷在恢复投喂阶段的代谢活动较为旺盛,这样有利于提高对饲料的利用效率,从而获得机体所需的物质和能量。

从本实验结果来分析,短时间(20 d)内的饥饿后,如能及时补充食物,对黑鲷的体质量、生理指标等不会造成显著的影响,原因是:(1) 恢复投喂后,机体内的各项生化指标均能在短期内恢复至饥饿前的水平;(2) 饥饿过程中黑鲷主要靠消耗蛋白质作为能源,在饥饿后期肝脏蛋白酶类活性升高,此有利于黑鲷在恢复投喂后从食物中补充自身蛋白的损失,有助于黑鲷的恢复生长。由于鱼类越冬所处的温度较低,能量消耗较低,使其能够耐受更长时间的饥饿,本实验的水温较高,只能是黑鲷越

冬的一个实验模拟,而冬天较低水温条件下,黑鲷的越冬期可长达2~3个月,因此,中、长期饥饿对黑鲷有何影响,以及黑鲷的摄食下限温度是多少等问题,均尚有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 杨严鸥,姚峰,何文平. 长吻鮠异育银鲫和草鱼补偿生长的比较研究[J]. 中国水产科学,2005,12(5): 575-579.
- [2] 冯健,李程琼,梁桂英,等. 淡水养殖太平洋鲑鱼饥饿后补偿性长长效果研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版,2005,44(3): 87-89.
- [3] 张波,孙耀,唐启升. 饥饿对真鲷生长及生化组成的影响[J]. 水产学报,2000,24(3): 206-210.
- [4] 尹秀芬. 饥饿和再投喂对花尾胡椒鲷生化 and 形态性状指标的影响[D]. 汕头: 汕头大学,2002.
- [5] Miglavs I, Jobling M. Effects of feeding regime on food consumption, growth rates and tissue nucleic acids in juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, with particular reference to compensatory growth[J]. J Fish Biol, 1989, 34: 947-957.
- [6] Maclean A, Metcalfe N B. Social status, access to food, and compensatory growth in juvenile Atlantic salmon[J]. J Fish Biol, 2001, 58: 1331-1346.
- [7] Gaylord T G, Gatlin D M. III. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. Aquaculture, 2001, 194: 337-348.
- [8] Eroldogan O T, Kumlu M, Kiriş G A, et al. Compensatory growth response of *Sparus aurata* following different starvation and refeeding protocols[J]. Aquaculture Research, 2006, 12: 203-201.
- [9] Russell N R, Wootton R J. Appetite and growth compensation in the European minnow, *Phoxinus phoxinus* (Cyprinidae) following short term of food restriction[J]. Environ Biol Fishes, 1992, 34: 277-285.
- [10] 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.
- [11] Zhu X, Xie S, Zou Z, et al. Compensatory growth and food consumption in gibel carp, *Carassius auratus gibelio*, and Chinese longsnout catfish, *Leiostomus longirostris*, experiencing cycles of feed deprivation and re-feeding [J]. Aquaculture, 2004, 241: 235-247.

- [12] 高露姣, 陈立侨, 宋兵. 饥饿和补偿生长对史氏鲟幼鱼摄食、生长和体成分的影响 [J]. 水产学报, 2004, 28 (3): 279-284.
- [13] 杨成辉, 隋波, 刘霞, 等. 美国虹鳟饥饿后补偿生长试验及其补偿机制探讨 [J]. 水产学杂志, 2007, 20 (1): 31-35.
- [14] 梅景良, 马燕梅, 张红星, 等. 夏、冬两季黑鲷消化酶活力的比较及反应温度和 pH 对酶活力的影响 [J]. 海洋学报, 2006, 28 (4): 167-171.
- [15] 袁春营, 崔青曼. 黑鲷的营养需求及营养代谢研究进展 [J]. 中国饲料, 2005 (10): 28-30.
- [16] 邓利, 张为民, 林浩然. 饥饿对黑鲷血清生长激素、甲状腺激素以及白肌和肝脏脂肪、蛋白质含量的影响 [J]. 动物学研究, 2003, 24 (2): 94-98.
- [17] 林学群. 饥饿和再投喂对虹鳟生理参数的影响 [J]. 汕头大学学报: 自然科学版, 1998, 13 (2): 51-57.
- [18] 易军, 岳秀英, 冯健. 饥饿对大平洋鲑鱼生长及生化组成的影响 [J]. 试验研究, 2005, 4: 30-32.
- [19] 沈文英, 林浩然, 张为民. 饥饿和再投喂对草鱼鱼种生物化学组成的影响 [J]. 动物学报, 1999, 45 (4): 404-412.
- [20] Larsson A and K Lewander. Metabolic effects of starvation in the eel, *Anguilla anguilla* [J]. Comp Biochem Physiol, 1973, 44: 3767-3774.
- [21] 高峰. 饥饿对花羔红点鲑生长、耗氧率、身体组分及血液指标的影响 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2004.
- [22] Bernard W I, Alan T. The effect of starvation and force-feeding on the metabolism of the Northern pike, *Esox lucius* L. [J]. J Fish Biol, 1976, 8 (1): 79-88.
- [23] Sung Hwoan Cho. Compensatory growth of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus* L. and changes in biochemical composition and body condition indices during starvation and after refeeding in winter season [J]. J World Aqu Soc, 2005, 36 (4): 508-514.
- [24] 宋兵, 陈立侨, 高露姣, 等. 饥饿对杂交鲟鱼摄食、生长和体成分的影响 [J]. 水生生物学报, 2004, 28 (3): 333-336.
- [25] Dobson S H, Homles R M. Compensatory growth of in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson [J]. J Fish Biol, 1984, 25 (6): 649-656.
- [26] Mommsen T P, French C J, Hochachka P W. Sites and patterns of protein and amino acid utilization during the spawning migration of salmon [J]. Can J Zool, 1980, 58: 1785-1799.
- [27] 沈文英, 金叶飞, 金俊, 等. 饥饿和再投喂对白鲫生物化学组分的影响 [J]. 绍兴文理学院学报, 2002 (2): 49-51.
- [28] 杨文鸽, 陈惠群. 饥饿对养殖鳊血清生化指标的影响 [J]. 中国水产, 2001, (7): 48-49.
- [29] 钱云霞, 陈惠群, 孙江飞. 饥饿对养殖鲈鱼血液生理生化指标的影响 [J]. 中国水产科学, 2002, 9 (2): 133-136.
- [30] 王沛宾, 林学群, 尹秀芬. 饥饿与恢复投喂对红鳍笛鲷血液生化指标的影响 [J]. 中国水产科学, 2002, 25 (5): 31-34.
- [31] 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): 168-176.
- [32] 钱云霞. 饥饿对养殖鲈蛋白酶活力的影响 [J]. 水产科学, 2002, 21 (3): 6-7.
- [33] 关胜军, 吴锐全, 谢俊, 等. 饥饿对大口黑鲈消化器官、蛋白酶和淀粉酶活力的影响 [J]. 南方水产, 2007, 3 (2): 25-29.
- [34] 王燕妮, 张志蓉, 郑曙明. 鲤鱼的补偿生长及饥饿对淀粉酶的影响 [J]. 水利渔业, 2001, 21 (5): 6-7.

Effects of starvation and re-feeding on body weight, tissue biochemical composition and hepatic digestive enzyme activity in juvenile black seabream, *Acanthopagrus schlegeli*

LONG Zhang-qiang¹, PENG Shi-ming¹, CHEN Li-qiao¹, LIU Chao¹, ZHANG Wei¹, WANG Yue¹, YE Jin-yun²

(1.College of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, China)

Abstract: Because of high variation of food availability in natural aquatic systems, fish may experience different degrees of starvation during their growth, especially overwinter period which may lead to variation in body weight, main biochemical composition of carcass and digestive enzyme activities in fish. The present experiment was designed to study the effects of starvation and subsequent re-feeding on body weight, main biochemical composition of muscle and serum, hepatic digestive enzyme activity in juvenile black seabream (*Acanthopagrus schlegeli*) cultured in indoor aquarium at water temperature 23–26 °C. The fish were divided into six groups, of which three groups were prepared for sampling during a different periods of starvation (0 d, 3 d, 5 d, 10 d, 15 d and 20 d), and the others were prepared for sampling during a different period of re-feeding (3 d, 5 d, 10 d, 15 d) after 20 d starvation. Each treatment was assigned to triplicate aquariums. The results were as follows: 1) body weight, condition factor, hepatosomatic index increased significantly during the starvation and all those were significantly different from those of initial experiment after starvation for 20 d. 2) The moisture content in muscle of black seabream increased slightly, while protein and ash content in muscle were significantly decreased during the starvation. The protein content decreased to 12.37% of dry body weight after 20-day-starvation, which was significantly different from that of initial experiment ($P < 0.05$). There was no difference in lipid content during the starvation ($P > 0.05$). The composition of muscle got back to normal after re-feeding for 10 d. The contents of protein and lipid in muscle after 15-day-re-feeding were higher than those in initial experiment. The statistical analysis showed that the black seabream juveniles use lipid firstly and then use protein as the chief energy source to maintain their life during starvation. 3) Total protein, glucose, triglyceride and cholesterol in serum decreased significantly during starvation and got back to normal level after 5-day- re-feeding except the glucose which got the highest after re-feeding for 3 days and then decreased gradually without significant difference ($P > 0.05$). 4) The activities of tryptase and lipase in liver increased during starvation, and almost twice the initial experiment after starvation for 20 days, and decreased during re-feeding. After the fish were re-fed for 20 d, the activities of tryptase and lipase in liver were higher than that of initial experiment. The amylase activity in liver decreased during starvation and increased during re-feeding without obvious change. [Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15 (4): 606–614]

Key words: black seabream; starvation; re-feeding; biochemical composition; digestive enzyme

Corresponding author: CHEN Li-qiao. E-mail: lqchen@bio.ecnu.edu.cn