

饥饿再投喂对黑鲢幼鱼消化酶活性与 血液生理生化指标的影响

张怡波¹, 吕慧明¹, 袁子¹, 徐善良^{2*}, 王丹丽¹

(1.宁波大学 海洋学院, 浙江 宁波 315832; 2.应用海洋生物技术教育部重点实验室, 浙江 宁波 315832)

摘要: 为研究饥饿再投喂对黑鲢幼鱼消化酶活性和血液生理生化指标的影响, 设置3个饥饿实验组(S5、S10、S15)及对照组(C组), 各实验组饥饿后均恢复投喂5 d。结果显示: (1)饥饿胁迫下, 消化酶活性总体呈下降趋势; 饥饿对淀粉酶活性影响不显著。 (2)复投喂5 d后, 各饥饿组胃中蛋白酶、脂肪酶活性相对稳定或继续下降; 肝脏和肠中蛋白酶S10和S15组迅速回升, 脂肪酶活性也呈恢复趋势。 (3)各饥饿组白细胞、红细胞、血红蛋白等含量显著下降; 复投喂后, 白细胞及S5、S10组的红细胞和血红蛋白含量回升至对照组水平。 (4)血糖在饥饿5 d时显著下降, 之后基本稳定; 总胆固醇和甘油三酯随饥饿时间延长而升高; 总蛋白含量先降后升, 白蛋白球蛋白比下降; 复投喂后血糖、白蛋白球蛋白比回升。分析认为, 黑鲢幼鱼在短期饥饿中, 前期主要消耗脂肪, 后期动用蛋白质作为维持基础代谢的能量。

关键词: 黑鲢; 饥饿; 再投喂; 消化酶活性; 血液生理生化指标

中图分类号: S917.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2019) 05-0012-05

在自然条件下, 鱼类经常会因环境变迁、季节更替、食物空间分布的不均匀性, 在生活周期的一定阶段面临食物的缺乏而受到饥饿胁迫^[1]。人工养殖条件下, 养殖密度过大、投喂不均等因素也会造成鱼类饥饿的现象^[2]。在营养不足或饥饿后鱼类会通过调节身体各种酶的活性等方式, 使体内贮存的物质得到积极利用从而维持生命活动^[3]。而鱼类的血液生理生化指标是研究鱼类营养生理最直接的指标, 也是了解饥饿胁迫及胁迫解除后鱼类健康状况、生理和营养水平等的主要参数^[4]。

黑鲢(*Girella leonina*)属鲈形目、鲈亚目、鲈科、鲈属, 具有抗病力强、性情温和易驯养、耐低氧能力强等特点, 且肉质细嫩洁白、营养丰富、经济价值高, 是近海网箱套养的优良品种, 目前我国台湾、广东、福建及浙江南部沿海已开展人工养殖^[5]。但对黑鲢的相关研究甚少, 近年仅见对其消化系统组织学^[6]、消化酶活性^[7]、血液生理生化指标^[5]

以及代谢率^[8]的研究, 尚未有饥饿胁迫对黑鲢幼鱼营养生理影响的报道。因此本文研究了饥饿和再投喂条件下, 黑鲢幼鱼消化酶活力与血液生理生化指标的变化规律, 并初步分析了饥饿及复投喂条件下鱼体代谢水平、能源物质利用的先后顺序以及营养健康状况, 以期鱼类饥饿生理研究提供基础资料, 为黑鲢养殖的合理投喂提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用鱼为取自浙江平阳南麂岛自然保护区的200余尾野生黑鲢鱼苗。运回实验室后在500 L饲养槽内暂养2周, 每天投喂2次。取驯化后的健康幼鱼150尾用于实验, 平均体重为(21.41±0.96)g。

1.2 实验设计

设S5、S10和S15共3个实验组, 分别在饥饿5、10和15 d后, 恢复正常投喂5 d, 并设一个正常

收稿日期: 2018-12-12.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(31872586); 浙江省公益技术应用研究(2017C32015)。

第一作者: 张怡波(1992—), 女, 河南周口人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 鱼类生态学。E-mail: zyb15058456761@163.com

*通信作者: 徐善良(1962—), 男, 浙江舟山人, 教授, 主要研究方向: 海水鱼类健康养殖。E-mail: xushanliang@nbu.edu.cn

投喂的C组(对照组), 每组均设3个平行, 每个平行12尾幼鱼, 计144尾。剩余6尾鱼连续饥饿备用。

1.3 实验方法

实验在循环流水养鱼系统中进行, 用水为经沉淀和砂滤后的自然海水, 盐度为 25 ± 0.5 , 温度控制在 $(22\pm 0.5)^{\circ}\text{C}$, 光照 $250\sim 350\text{ lx}$, pH不低于7.8。取驯化后幼鱼随机放入12个容积15 L的长方形塑料水槽内, 每槽12尾, 投喂适应2周后开始饥饿实验。饥饿结束后恢复投喂, 每日饱食投喂2次(7:00和17:00)。投喂饲料为“神彩牌”浮性颗粒饲料。

1.4 样品的制备及测定

1.4.1 血样制备及测定

在各实验组饥饿结束时和恢复投喂后的第5 d, 各组各平行随机取6尾鱼, 取样前用MS-222麻醉。用2.5 mL抗凝注射器尾静脉抽血, 立即送样用SYSMEX F-820半自动血细胞分析仪测定各项血常规生理指标; 用5 mL一次性注射器取血2~5 mL, 置于离心管中于 4°C 下保存12 h, 之后 $4\ 000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心10 min, 取上层血清采用日立H-7600全自动生化分析仪进行生化指标测定。

1.4.2 酶液的制备及测定方法

将麻醉取血后的黑鲷幼鱼置于冰盘上快速解剖, 取其消化道及肝脏, 剔除肠系膜及多余脂肪组织, 预冷的生理盐水冲净, 用于粗酶液制备。样品称重后加入4倍体积的预冷生理盐水, 匀浆后用冷冻离心机于 4°C , $2\ 500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 条件下离心10 min, 取上清液置于 4°C 下保存, 24 h内测定完毕。采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定胃、肠、肝脏3种组织蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶活性, 用考马斯亮蓝染色法测定蛋白浓度。

蛋白酶活力: 37°C 下每mg组织蛋白1 min分解蛋白生成 $1\ \mu\text{g}$ 氨基酸为1个酶活力单位; 脂肪酶活力: 37°C 下每mg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1个酶活力单位; 淀粉酶活力: 37°C 下组织中每mg蛋白与底物作用30 min, 水解10 mg淀粉为1个淀粉酶活力单位。酶活力以比活力(每mg蛋白质活力单位, $\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}$)表示。

1.5 数据处理

数据采用SPSS 17.0软件进行方差分析, 用Duncan's多重比较检验组间的差异, 以 $P<0.05$ 作为差异显著水平。

2 结果

2.1 饥饿对消化酶活力的影响

各饥饿组黑鲷幼鱼胃、肝脏、肠的消化酶活性测定结果见表1。胃蛋白酶在S5组活性有所升高, 但与对照差异不显著($P>0.05$), 之后随饥饿时间的延长持续降低, S15组胃蛋白酶活力相较于对照组下降了41.9%, 而S15组肝脏和肠的蛋白酶活力降幅更甚, 达73.5%和71.0%。3种组织中的脂肪酶活性均随饥饿时间的延长而降低, 肝脏中的脂肪酶变化最小, 饥饿15 d时脂肪酶活性下降了26.9%, 降幅小于胃蛋白酶。淀粉酶活性极低, 且只在胃中呈显著下降趋势($P<0.05$)。

2.2 恢复投喂后消化酶活力的变化

恢复投喂5 d后, 不同饥饿组黑鲷幼鱼各组织消化酶活性见表2。复投喂后, S10组胃蛋白酶活性较为稳定, S5和S15的胃蛋白酶不升反降, 肝脏和肠中蛋白酶仅S5组显著下降; 脂肪酶活性在胃中3组均继续下降, 在肝脏及肠中的脂肪酶则呈恢复上升; 淀粉酶变化不显著。复投喂后肝和肠中蛋白酶活性与饥饿时间呈正相关, 而胃蛋白酶及肝和肠中脂肪酶活性则与饥饿时间呈负相关关系。

2.3 饥饿及恢复投喂对主要血液生理指标的影响

黑鲷幼鱼在饥饿过程中, 血液中的白细胞、红细胞及血红蛋白含量的变化见表3。饥饿后S5、S10

表1 饥饿过程中黑鲷幼鱼消化酶活性的变化

$\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}$

组别	蛋白酶			脂肪酶			淀粉酶		
	胃	肝脏	肠	胃	肝脏	肠	胃	肝脏	肠
C	274.59 ± 11.17^a	12.73 ± 0.77^a	6.30 ± 1.03^a	72.38 ± 3.81^a	7.78 ± 0.56^a	57.93 ± 7.73^a	0.57 ± 0.10^a	0.05 ± 0.02^a	0.09 ± 0.01^a
S5	281.10 ± 10.32^a	11.01 ± 2.00^a	1.82 ± 0.73^b	65.93 ± 6.04^a	7.30 ± 0.65^{ab}	21.20 ± 1.93^b	0.53 ± 0.09^a	0.04 ± 0.02^a	0.05 ± 0.02^{ab}
S10	179.43 ± 7.11^b	6.43 ± 0.81^b	1.98 ± 0.71^b	43.57 ± 4.95^b	6.29 ± 0.78^{bc}	15.91 ± 2.68^b	0.34 ± 0.03^b	0.04 ± 0.01^a	0.07 ± 0.02^{ab}
S15	159.43 ± 7.32^c	3.37 ± 0.73^c	1.83 ± 0.43^b	30.00 ± 4.62^c	5.69 ± 0.59^c	5.23 ± 0.65^c	0.17 ± 0.05^c	0.06 ± 0.01^a	0.04 ± 0.03^a

注: 同一行数值中右上角不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 下表同。

表2 再投喂5d时黑鲮幼鱼消化酶活性的变化

组别	蛋白酶			脂肪酶			淀粉酶		
	胃	肝脏	肠	胃	肝脏	肠	胃	肝脏	肠
C	274.59±11.17 ^a	12.73±0.77 ^a	6.30±1.03 ^{ab}	72.38±3.81 ^a	7.78±0.56 ^b	57.93±7.73 ^a	0.57±0.10 ^a	0.05±0.02 ^a	0.09±0.01 ^a
S5	186.29±7.87 ^b	7.95±0.76 ^b	1.37±0.74 ^c	52.54±4.08 ^b	9.84±0.98 ^a	47.20±7.73 ^a	0.41±0.13 ^{ab}	0.09±0.01 ^a	0.06±0.05 ^a
S10	179.60±7.49 ^b	8.90±0.84 ^b	5.36±1.32 ^b	31.58±4.13 ^c	8.20±0.63 ^b	30.80±4.39 ^b	0.28±0.03 ^{bc}	0.07±0.05 ^a	0.07±0.05 ^a
S15	134.10±10.78 ^c	11.95±1.12 ^a	7.58±0.62 ^a	29.77±5.16 ^c	7.93±0.70 ^b	8.34±0.90 ^c	0.12±0.09 ^c	0.04±0.01 ^a	0.03±0.01 ^a

表3 饥饿和再投喂对黑鲮幼鱼血液生理指标的影响

组别	白细胞/($\times 10^9 L^{-1}$)		红细胞/($\times 10^{12} L^{-1}$)		血红蛋白/($g \cdot L^{-1}$)	
	饥饿结束	复投喂5d	饥饿结束	复投喂5d	饥饿结束	复投喂5d
C	122.4±3.6 ^a	122.4±3.6 ^{ab}	2.95±0.16 ^a	2.95±0.16 ^a	113±5 ^a	113±5 ^a
S5	115.5±2.1 ^b	131.0±12.2 ^a	2.70±0.03 ^b	2.85±0.13 ^a	103±3 ^b	118±16 ^a
S10	87.8±1.8 ^c	108.0±13.1 ^b	1.94±0.12 ^d	2.74±0.19 ^a	85±8 ^c	119±12 ^a
S15	82.0±2.6 ^d	105.8±8.2 ^b	2.39±0.11 ^c	2.33±0.02 ^b	99±3 ^b	92±4 ^b

和S15组的血液中红细胞及血红蛋白含量显著下降($P<0.05$),但S15组相对于S10组则出现回升($P<0.05$),整个饥饿期间血液中白细胞水平持续下降($P<0.05$).恢复投喂5d后,各组白细胞水平与对照组无显著差异($P>0.05$);S5、S10组红细胞和血红蛋白含量回升至对照组水平,但S15组则仍低于对照组,且差异显著($P<0.05$).

2.4 饥饿及恢复投喂对血清生化指标的影响

在饥饿胁迫下,黑鲮幼鱼血液生化指标的变化情况见表4.血糖含量在饥饿5d时即显著下降($P<0.05$),之后维持在相对稳定的水平($P>0.05$);总胆固醇和甘油三酯随饥饿时间延长而升高;总蛋白含量在饥饿期间则先下降后升高,白蛋白球蛋白比则持续降低.在恢复投喂后,3个饥饿组的血糖水平迅速恢复至对照组水平($P>0.05$);白蛋白和球蛋白含量在恢复投喂后也同时升高,且超过对照组水平($P<0.05$);白蛋白球蛋白比回升;复投

喂后总胆固醇和甘油三酯均超过对照组水平.

3 讨论

3.1 消化酶对饥饿胁迫及复投喂的响应

鱼类在受到饥饿胁迫时,体内代谢会发生适应性变化,通过调整各种消化酶的活性,达到合理利用体内贮存物质以维持生命的目的^[1].通过对不同种酶活性变化规律的研究,可大体分析出鱼体的代谢情况、能源物质的动用情况以及先后顺序^[9].

本研究发现黑鲮幼鱼各消化酶活力总体上随饥饿时间延长而降低,与史氏鲟(*Ancherythroculter nigrocauda*)幼鱼饥饿实验的结果相一致^[10],原因是在饥饿胁迫下,黑鲮为降低能量损耗,将身体贮存的能量更多地用到维持生命所需的各种基本生理活动上,呈现出代谢水平降低的现象.而胃蛋白酶较为特殊,在饥饿5d时活性略高于对照组,褐菖鲢(*Sebastiscus marmoratus*)饥饿时胃蛋白酶活力

表4 饥饿和再投喂对黑鲮幼鱼血液生化指标的影响

组别	血糖/($mmol \cdot L^{-1}$)		总蛋白/($g \cdot L^{-1}$)		白蛋白/($g \cdot L^{-1}$)		球蛋白/($g \cdot L^{-1}$)		总胆固醇/($mmol \cdot L^{-1}$)		甘油三酯/($mmol \cdot L^{-1}$)	
	饥饿结束	复投喂5d	饥饿结束	复投喂5d	饥饿结束	复投喂5d	饥饿结束	复投喂5d	饥饿结束	复投喂5d	饥饿结束	复投喂5d
C	3.65±0.32 ^a	3.65±0.32 ^a	31.9±0.3 ^b	31.9±0.3 ^b	9.1±0.1 ^a	9.1±0.1 ^b	22.8±0.3 ^b	22.8±0.3 ^c	4.04±0.15 ^c	4.04±0.15 ^c	1.55±0.25 ^c	1.55±0.25 ^d
S5	2.95±0.25 ^b	4.06±0.16 ^a	30.5±0.1 ^c	35.5±1.3 ^a	8.9±0.1 ^{ab}	11.3±0.9 ^a	23.6±0.8 ^{ab}	24.2±0.2 ^b	4.71±0.06 ^{bc}	5.02±0.62 ^{bc}	1.97±0.32 ^{bc}	5.88±0.32 ^a
S10	2.94±0.32 ^b	3.98±0.28 ^a	32.2±0.2 ^{ab}	34.8±1.6 ^{ab}	8.7±0.2 ^b	11.2±1.0 ^a	23.5±0.2 ^{ab}	23.6±0.5 ^b	6.00±1.24 ^{ab}	5.36±0.65 ^b	3.46±0.93 ^b	2.06±0.12 ^c
S15	2.96±0.22 ^b	3.84±0.42 ^a	32.5±0.4 ^a	36.5±2.4 ^a	8.3±0.1 ^c	10.8±0.6 ^a	24.2±0.9 ^a	25.9±0.4 ^a	7.00±0.63 ^a	6.59±0.84 ^a	5.7±1.23 ^a	4.5±0.02 ^b

也呈先上升后下降的趋势。推测为饥饿前期,鱼类为了更好地利用胃部残余食物中的蛋白质,使蛋白酶活性出现短暂的升高^[11],至饥饿15 d时,蛋白酶活力仅下降了约41.9%,远低于肝脏的73.5%和肠道的71.0%。而肠道作为消化道,其蛋白酶活性比消化腺肝脏对饥饿的响应更迅速,5 d后即下降了71.1%,继续饥饿则相对稳定地维持在较低水平,与饥饿对黄鲈(*Monopterus albus*)消化酶活性的影响相似,蛋白酶在饥饿15 d时保持了适当的活性,以保证重新获得食物供应时能够迅速产生适当的分解反应^[12]。黑鲷主要以中小型无脊椎动物为食^[6],即正常情况下主要以消化吸收蛋白质为主,故各组织淀粉酶活性极低。且随饥饿时间延长,肝脏、肠道淀粉酶虽出现波动但均与对照组差异不显著,只有胃淀粉酶活力在饥饿10 d时才出现显著下降,而肝脏脂肪酶较胃蛋白酶下降更为缓慢,饥饿15 d降幅仅为26.9%。可以看出饥饿胁迫对黑鲷淀粉酶活性的影响极小,说明对胃蛋白、肝脏脂肪的吸收利用是黑鲷幼鱼消化酶应对饥饿胁迫的主要响应。

研究表明,饥饿复投喂后,鱼体消化酶活力总体呈恢复趋势^[9,13]。本实验中,黑鲷消化酶活性的恢复存在组织间差异。复投喂后胃中蛋白酶、脂肪酶活力相对稳定或继续下降,可能是饥饿导致胃腺萎缩、胃壁厚度下降等器官实质性变化所致^[14]。复投喂后肝和肠中蛋白酶活性仅S5组继续下降,S10、S15组迅速回升,脂肪酶活性3组均呈恢复趋势,说明饥饿胁迫未造成肝脏机能损伤,重获食物后肝脏功能迅速重建。复投喂后肝和肠中蛋白酶活性与饥饿时间呈正相关,而脂肪酶活性与饥饿时间呈负相关,这与对千年笛鲷(*Lutjanus sebae*)的研究结果类似^[15]。推测是因为黑鲷幼鱼在饥饿前期以消耗脂肪为主,复投喂后鱼体需消化吸收食物中的脂质以补偿饥饿期间脂质的损失,随着饥饿时间延长,脂肪消耗不足以维持基础代谢水平,从而依靠较高的蛋白酶活性来消耗体内蛋白质。

3.2 血液生理生化指标对饥饿胁迫及复投喂的响应

鱼类血液生理生化指标被广泛用来评价鱼体对环境的适应状况及其营养状况^[16]。黑鲷幼鱼红细胞数、血红蛋白含量在饥饿0~10 d内显著减少。这与养殖鲈(*Laterolabrax japonicus*)的实验结果趋势相同^[17],表明鱼类在饥饿时血液的氧结合力下

降,代谢水平降低。饥饿15 d时出现异常反弹,推测是鱼体为获取食物时能尽快恢复机体功能而做出的适应性调节。白细胞数、白蛋白球蛋白比可分别反映出鱼体的免疫状态及血浆胶体渗透压的状况^[18]。饥饿大多导致鱼体白细胞增多^[19-20],但本实验发现黑鲷的白细胞数量逐渐减少,且白蛋白球蛋白比在整个饥饿期间持续下降,说明饥饿条件下黑鲷免疫力减弱且渗透压调节等生理功能受到影响。恢复投喂5 d后,S5、S10组白细胞、红细胞、血红蛋白、白蛋白和球蛋白等指标迅速回升,接近或超过对照组水平;而复投喂后,饥饿15 d组白细胞数量、白蛋白球蛋白比增高,红细胞、血红蛋白数仍未恢复至饥饿前水平且持续下降,说明0~10 d的饥饿程度在复投喂后血液的基本生理功能、代谢水平与机体营养状况可以得到迅速恢复,但S15组黑鲷鱼体复投喂后健康状态得以改善,推测饥饿时间过长致使机体需要更长的时间来自我修复。

饥饿5 d时黑鲷血糖下降了19.2%,之后维持在较稳定的水平,对鲫鱼(*Carassius auratus*)的饥饿实验也得到了相同的结果,这是由于鱼体内存在维持血糖恒定的自我调节机制^[21]。饥饿时,黑鲷幼鱼不再从食物中得到碳水化合物、脂质等营养物质,其血糖浓度的维持主要靠糖异生作用来实现^[22]。对红鳍笛鲷(*Lutjanus erythropterus*)的研究发现,在饥饿过程中,其血脂持续下降,而血蛋白在饥饿过程中始终维持在较恒定的水平,说明对蛋白的利用在脂质之后^[19]。血清中甘油三酯和总胆固醇的量代表了机体利用脂质的多少^[18]。本研究中血液中的甘油三酯和胆固醇均随饥饿时间延长而增加,总蛋白则先下降后上升,这进一步证实了在饥饿前期黑鲷幼鱼对脂肪利用较多,与上述饥饿期间肝脏脂肪酶活性变化较小,以及饥饿前期以脂肪供能为主,之后增加对蛋白质利用的推测相吻合。

参考文献:

- [1] 谢小军,邓利,张波. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展[J]. 水生生物学报,1998,22(2):181-188.
- [2] 程超,施光美. 饥饿对鲫鱼血液生理生化指标和流变学性质的影响[J]. 中国农学通报,2008,24(1):516-519.
- [3] 柴鹏,李吉方,吴蒙蒙,等. 饥饿和再投喂对锦鲤幼鱼几种消化酶活性的影响[J]. 水生态学杂志,2007,27(4):12-14.

- [4] 林浩然. 鱼类生理学[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1999:185-188.
- [5] 孙敏, 徐善良, 唐道军. 黑鲷血液的生理生化指标研究[J]. 应用海洋学报, 2009, 28(4):482-487.
- [6] 曹潇, 孙敏, 朱亮华, 等. 黑鲷消化系统的形态学及组织学研究[J]. 热带海洋学报, 2018, 37(1):20-26.
- [7] 孙敏, 徐善良, 肖云朴, 等. 黑鲷(*Girella leonina*)淀粉酶与蛋白酶的活力研究[J]. 宁波大学学报(理工版), 2009, 22(3):337-342.
- [8] 唐道军, 徐善良, 马斌. 温度对黑鲷幼鱼耗氧率和排氮率的影响[J]. 动物学杂志, 2013, 48(2):256-260.
- [9] 刘群, 李吉方, 王晴晴, 等. 饥饿和恢复投喂对许氏平鲷幼鱼消化酶活性的影响[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(2):52-57.
- [10] 高露姣, 陈立侨, 宋兵. 饥饿和补偿生长对史氏鲟(*Ancherythroculter nigrocauda*)幼鱼摄食、生长和体成分的影响[J]. 水产学报, 2004, 28(3):279-284.
- [11] 江丽华, 朱爱意, 苑淑宾. 饥饿对褐菖鲢消化道指数及消化酶活力的影响[J]. 水产科学, 2011, 30(4):187-191.
- [12] 杨代勤, 陈芳, 阮国良, 等. 饥饿对黄鳝消化酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(5):1167-1170.
- [13] 樊启学, 程鹏, 刘文奎. 饥饿和再投喂对翘嘴鲈幼鱼消化酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2008, 15(3):439-445.
- [14] 付世建, 邓利, 张文兵, 等. 南方鲇幼鱼胃和肝脏的组织结构及其在饥饿过程中的变化[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 1999, 24(3):336-342.
- [15] 区又君, 刘泽伟. 饥饿和再投喂对千年笛鲷幼鱼消化酶活性的影响[J]. 海洋学报(中文版), 2007, 29(1):86-91.
- [16] 胡麟, 吴天星. 饥饿对鱼类生理生化的影响[J]. 水利渔业, 2007, 27(1):7-9.
- [17] 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):133-137.
- [18] 孙红梅. 饥饿对黄颡鱼血液指标及免疫机能的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2004.
- [19] 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]. 水产养殖, 2004, 25(5):31-34.
- [20] 胡一中, 程宏毅, 王鸿艳. 饥饿对月鳢几项血液指标的影响[J]. 生物学杂志, 2009, 26(1):81-83.
- [21] 程超, 施光美. 饥饿对鲫鱼血液生理生化指标和流变学性质的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(1):516-519.
- [22] Gillis T E, Ballantyne J S. The effects of starvation on plasma free amino acid and glucose concentrations in lake sturgeon[J]. Journal of Fish Biology, 1996, 49(6):1306-1316.

Effects of starvation and refeeding on digestive enzyme activities and blood indices in juvenile *Girella leoninas*

ZHANG Yibo¹, LÜ Huiming¹, YUAN Zi¹, XU Shanliang^{2*}, WANG Danli¹

(1. School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315832, China;

2. Key Laboratory of Applied Marine Biotechnology of Ministry of Education, Ningbo 315832, China)

Abstract: The current study was aimed to investigate the effects of starvation and refeeding on digestive enzyme activity, blood physiological and biochemical indexes of juvenile black bream. Three experimental groups of starvation (S5, S10, S15) and a control group (Group C) were included. All the experimental groups were refed for 5 d after starvation. The results showed that digestive enzymes activity exhibited a downward trend under the stress of starvation. Starvation had little effect on amylase activity. Furthermore, the activity of pepsin and lipase in each starvation group achieved relative stability or experienced a continued decline after refeeding for 5 d. Protease activity of liver and intestine of S10, S15 groups and lipase activity took on a recovery trend. In addition, the content of white blood cells, erythrocytes and hemoglobin decreased significantly in all starvation groups. Following refeeding, the white blood cell count and the erythrocytes and hemoglobin content in S5, S10 groups returned to the control group level. The blood-sugar concentration decreased after starvation for 5 d, and then was relatively stable. Total cholesterol and triglyceride increased time-dependently. The total protein content declined first and subsequently increased. The albumin-globulin ratio decreased. After refeeding, the blood-sugar concentration and albumin-globulin ratio increased. Analysis suggested that during short-term starvation, juvenile black bream mainly consumed lipid in the early stage and began to use protein as energy to maintain basic metabolism during the later stage.

Key words: *Girella leonina*; starvation; refeeding; digestive enzyme activity; blood indices

(责任编辑 韩超)