

文章编号: 1000-0615(2016)09-1440-11

DOI: 10.11964/jfc.20151210216

禁食对养殖大黄鱼体成分、肌肉脂肪酸组成和血清生化指标的影响

张振宇, 王秋荣*, 叶坤, 王志勇

(集美大学水产学院, 农业部东海海水健康养殖重点实验室, 福建 厦门 361021)

摘要: 为了探讨禁食对大黄鱼体成分、肌肉脂肪酸组成和血清生化指标的影响, 从海上网箱选择规格相近、健康的养殖大黄鱼105尾[平均体质量(249.07±7.28) g]进行禁食实验, 分别在实验开始时及禁食后第3、7、14、21、28、35、42和49天采集实验鱼肌肉和血液样品, 进行肌肉营养成分和血清生化指标的测定。结果发现, 随着禁食时间的延长, 大黄鱼肌肉中水分和粗灰分含量呈现升高的趋势, 粗脂肪含量呈现下降的趋势, 粗蛋白含量在禁食后第21天下降后基本保持稳定; 肌肉中饱和脂肪酸(SFA)和单不饱和脂肪酸(MUFA)含量均无显著变化, 多不饱和脂肪酸(PUFA)和n-3系列高度不饱和脂肪酸(n-3HUFA)总量呈现下降的趋势。禁食后第3天血清中的谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、乳酸脱氢酶(LDH)、葡萄糖(GLU)、钾离子(K⁺)、钙离子(Ca²⁺)、钠离子(Na⁺)和氯离子(Cl⁻)含量显著上升; 甘油三酯(TG)、总胆固醇(CHOL)含量显著下降; 血清总蛋白(TP)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和碱性磷酸酶(ALP)无显著变化。研究表明, 随着禁食时间的延长, 血清中除了Na⁺和Cl⁻含量出现波动性上升外, 血清中的葡萄糖、蛋白质、脂类、K⁺和Ca²⁺含量以及血清代谢酶活性均出现波动式下降, 表明大黄鱼禁食期间主要以脂类作为能量来源, 体内营养物质代谢活动强度呈波浪形的起伏变化, 随着禁食时间的延长机体代谢活动趋于减弱, 但免疫功能和代谢机能未受到明显影响。

关键词: 大黄鱼; 禁食; 体成分; 脂肪酸; 血清; 生化指标

中图分类号: S 963

文献标志码: A

在鱼类养殖过程中, 渔民经常会根据水质及气候变化、疾病发生等情况采取阶段性禁食策略。此外, 对上市屠宰前的鱼类进行禁食处理可以改善产品卫生情况, 优化鱼肉的营养组成, 同时保障运输期间的鱼类福利。禁食期间鱼类只能利用体内贮存的营养物质进行代谢供能, 从而会引起鱼体代谢水平、生化组成和相关生理生化指标的变化^[1-4]。但不同鱼类禁食期间对营养物质的代谢利用存在一定差异, 如淡水鲈(*Lateolabrax japonicus*)禁食开始时首先动用肠系

膜和肌肉脂肪作为能量来源, 但整个禁食期间主要靠肌肉蛋白质提供能量^[5]。而草鱼(*Ctenophary-nodon idella*)和真鲷(*Pagrosomus major*)在禁食过程中则分别以糖类和蛋白质作为能源物质^[6-7]。鱼类禁食期间对脂肪中脂肪酸的利用顺序有一定规律, 即首先利用饱和脂肪酸, 然后利用低不饱和脂肪酸, 最后动用高度不饱和脂肪酸^[8]。但是, 不同鱼类对不同组织器官脂肪酸及不同系列脂肪酸利用也存在差异, 太平洋鲑(*Oncorhynchus* spp.)禁食期间肌肉和肠系膜脂肪酸变化较

收稿日期: 2015-12-28 修回日期: 2016-03-21

资助项目: 福建省科技厅农业引导性(重点)项目(2015N0011); 国家自然科学基金(U1205122); 厦门南方海洋研究中心重大项目(14GZY70NF34)

通信作者: 王秋荣, E-mail: wqiurong@126.com

小,肝脏脂肪酸变动较大^[9]。虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)和锦鲤(*Cyprinus carpio*)随着禁食时间的延长体内饱和脂肪酸(SFA)和单不饱和脂肪酸(MUFA)含量下降,多不饱和脂肪酸(PUFA)含量上升^[10-11];而非洲鲶(*Clarias gariepinus*)则SFA含量下降, MUFA和PUFA含量上升^[12];金头鲷(*Sparus aurata*)在禁食过程中脂肪酸损失速率的排列顺序为 Σ n-6PUFA> Σ n-9PUFA> Σ n-3PUFA^[13];而鳊(*Miichthys miuy*)在禁食过程中脂肪酸的损失速率为 Σ n-9PUFA> Σ n-6PUFA> Σ n-3PUFA^[14]。鱼类血液生化指标反映鱼类的营养健康状况及其对外界环境的适应能力,钱云霞等^[15]研究发现,海水鲈在4周的禁食过程中血清中总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)含量和碱性磷酸酶(ALP)活性等指标均出现上下波动,血清中的甘油三酯(TG)和总胆固醇(CHOL)含量呈现下降趋势。同样中华鲟(*Acipenser sinensis*)幼鱼禁食43d期间血清丙氨酸转氨酶(ALT)、天冬氨酸转氨酶(AST)活性在禁食19~25 d后产生较大变化^[16]。可见不同鱼类对饥饿的适应方式和生理代谢方式不同,因此,开展禁食对鱼类生理生化的影响研究具有重要学术和实用价值。

大黄鱼(*Larimichthys crocea*)主要分布在我国东南沿海,由于过度捕捞,大黄鱼野生资源遭受严重破坏。20世纪80年代中期,福建省率先开展大黄鱼人工繁养殖技术研究并取得成功,至今大黄鱼已发展成为我国养殖量最大的海水鱼和最具优势的出口养殖水产品之一^[17-18]。有关禁食对大黄鱼肌肉基本组成和肝脏的抗氧化能力的影响已有报道^[19],本实验在此基础上着重探讨禁食对大黄鱼体成分、肌肉脂肪酸组成和血清生化指标的影响,旨在进一步揭示大黄鱼在禁食期间体内营养物质的代谢规律及对饥饿的生理适应能力,为大黄鱼养殖生产过程中采取合理的投喂策略及利用禁食调控技术改善肌肉的营养品质提供科学参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼

实验用大黄鱼及设施由福建省宁德市金铃水产科技有限公司提供,挑选大小均匀,健康无病的小网箱养殖大黄鱼105尾[平均体质量(249.07±7.28 g)],移至室内水泥池(8 m×3.5 m×1.8 m)进行

禁食实验。

1.2 禁食实验及取样

禁食实验为期7周,实验期间水温为16~23℃,盐度18,每天7:00换水一次,24 h连续充气。在实验开始时及禁食后第3、7、14、21、28、35、42、49天取样,每次随机取6尾,经MS-222麻醉后用湿毛巾将鱼眼睛和体前部包裹进行固定,用2 mL一次性注射器从鱼尾柄静脉采集实验鱼的血液4~5 mL注入离心管中,放置4℃冰箱静置12 h后,在4℃下3000 r/min离心15 min,取其上清液装于2 mL的冻存管中置于液氮中保存。然后用吸水纸擦干鱼体表面的水分,去除鳞片、经解剖完整地取出肝脏,小心剔除表面结缔组织和脂肪组织等附着物后,分装于塑料封口袋。之后再用解剖刀去掉大黄鱼表皮,取侧肌分装于塑料封口袋,肝脏及肌肉样品存放于-80℃冰箱中供日后进行生化分析。

1.3 样品测定

常规营养成分测定 粗蛋白质含量采用Foss全自动Kjeltec 2100型凯式定氮仪测定(总N×6.25);根据Folch法^[20]提取肌肉粗脂肪;水分和粗灰分含量分别采用烘箱(105℃)干燥法和马福炉550℃高温灰化法进行测定。

脂肪酸测定 脂肪酸甲酯化参照Takeuchi^[21]的方法,往提取出的总脂中加入1 mL 50%氢氧化钾和15 mL乙醇溶液,煮沸40 min进行皂化,冷却后用乙醚分离出下层皂化液,用旋转蒸发器除去溶剂,再加入7%三氟化硼-甲醇溶液5 mL,煮沸20 min后,再加入5 mL正己烷煮沸1 min,冷却。然后往冷却液加入饱和氯化钠溶液至1/2瓶容积,振荡,再加入正己烷至满,小心吸取上层己烷层经装有无水硫酸钠的漏斗过滤,再补满正己烷,吸取、过滤,重复5次,合并滤液用旋转蒸发器除去溶剂,用氮气缓慢吹干,称重。最后用色谱纯正己烷溶解脂肪酸甲酯制备成上机测定液,采用Agilent 6890气相色谱仪进行脂肪酸分析,色谱柱为(Agilent, DB-210 122-2332, 30 m×0.25 mm×0.25 μm),FID检测器进样口温度250℃,载气为高纯度(99.99%)氮气,流速1.3 mL/min;起始温度为60℃,并以10℃/min的速度提升到190℃后,再以5℃/min的速度提升到210℃,然后以2℃/min的速度提升到225℃,

最后以10 °C/min的速度提升到245 °C。进样量为1 μL, 进样口压力为60 kPa。最后根据脂肪酸甲酯混标(Sigma)的分析图谱和保留时间对样品脂肪酸进行定性分析, 采用面积归一法计算各脂肪酸的相对含量。

血清生化指标测定 血清样品采用日立7180全自动生化仪进行检测。所用的试剂盒均由宁波瑞源生物科技有限公司提供。各生化指标测定使用的方法如下: GLU糖含量, 葡萄糖氧化酶法; TP含量, 双缩脲法; ALB含量, 溴甲酚绿法; CHOL含量, 氧化酶法(CHOD-PAP-CDC法); HDL-C和LDL-C含量, 选择性抑制法; ALP活性, SFBC速率法(37 °C); ALT和AST活性, IFCC法(37 °C); TG含量, GPD-PAP法; LDH活性, 乳酸法(37 °C); Ca²⁺含量, 偶氮砷Ⅲ法; K⁺含量, K⁺依赖性丙酮酸激酶连续监测法; Na⁺含量, b-半乳糖苷酸酶连续监测法; Cl⁻含量, 硫氰酸汞比色法。

1.4 数据处理

实验数据采用SPSS 17.0软件进行统计处理, 实验结果用平均值±标准差(mean±SD)表示。对实验数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 若有差异显著用LSD法进行多重比较, $P<0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 禁食对养殖大黄鱼体成分的影响

禁食期间大黄鱼肌肉水分和灰分含量在禁食前期基本保持相对稳定($P>0.05$), 随着禁食时间的延长, 大黄鱼肌肉中水分和粗灰分含量呈现升高的趋势(表1)。肌肉中脂肪含量在禁食后第7天开始逐渐下降, 至第28天与初始值相比下降约11.5%, 至实验结束时, 肌肉脂肪含量下降约27.4%。肌肉中粗蛋白含量在禁食后两周内变化不明显($P>0.05$), 至第21天后出现显著下降($P<0.05$), 之后至实验结束略有下降, 但变化不明显($P>0.05$)。

表1 禁食对大黄鱼肌肉一般成分组成的影响

Tab. 1 Effect of fasting on muscle proximate composition of *L.crocea*

禁食时间/d fasting time	水分 moisture	粗灰分 crude ash	粗脂肪 crude lipid	粗蛋白 crude protein
0	69.48±2.07 ^a	1.38±0.10 ^a	12.10±0.44 ^c	16.22±0.24 ^b
3	68.98±1.76 ^a	1.40±0.04 ^a	12.19±0.32 ^c	16.12±0.16 ^b
7	69.18±0.54 ^a	1.39±0.09 ^a	11.84±0.41 ^d	16.06±0.34 ^b
14	69.66±3.17 ^a	1.40±0.04 ^a	11.85±0.29 ^d	15.96±0.43 ^b
21	70.31±1.29 ^{ab}	1.43±0.07 ^{ab}	11.19±0.21 ^c	15.60±0.30 ^b
28	71.20±1.60 ^b	1.44±0.02 ^{ab}	10.71±0.34 ^c	15.52±0.18 ^a
35	72.90±0.66 ^c	1.40±0.07 ^a	9.69±0.48 ^b	15.64±0.49 ^a
42	72.31±1.17 ^c	1.57±0.02 ^b	9.12±0.46 ^b	15.33±0.11 ^a
49	72.22±2.78 ^c	1.57±0.02 ^b	8.79±0.42 ^a	15.23±0.14 ^a

注:同一列数据上不同字母表示存在显著差异($P<0.05$), 下同

Notes: Values with the same column with different letter in the superscripts were significantly different ($P<0.05$), the same below

2.2 禁食对养殖大黄鱼肌肉脂肪酸组成的影响

大黄鱼禁食期间肌肉中饱和脂肪酸(SFA)和单不饱和脂肪酸(MUFA)含量均无显著变化。多不饱和脂肪酸(PUFA)中的C18:2和C20:4含量出现先降后升趋势, C20:5 (EPA)保持相对稳定, C22:5含量则先升后降, C22:6 (DHA)含量呈现降-升-降趋势, DHA/EPA比值出现锯齿状波动(表

2)。禁食结束时, Σ PUFA由初始时的24.5%下降到23.3% ($P<0.05$), n-3系列高度不饱和脂肪酸总量(Σ n-3HUFA)由21.8%降至20.5% ($P<0.05$)。

2.3 禁食对养殖大黄鱼血清生化指标的影响

禁食期间大黄鱼血清总蛋白(TP)含量在禁食后第7天显著下降($P<0.05$), 至第21天下降至实验初始值约50%的水平, 在禁食第28~35天重新

表 2 禁食对大黄鱼肌肉脂肪酸组成的影响
Tab. 2 Effect of fasting on muscle fatty acid composition of *L.crocea*

脂肪酸 fatty acids	禁食时间/d fasting time								
	0	3	7	14	21	28	35	42	49
C14:0	3.2±0.2	3.2±0.2	3.3±0.2	3.1±0.1	3.2±0.1	3.2±0.1	3.3±0.1	3.2±0.0	3.3±0.2
C16:0	25.3±0.8	25.3±0.7	25.8±0.2	25.2±0.2	25.2±0.2	25.1±0.2	24.4±0.2	24.8±0.8	25.5±0.9
C18:0	5.2±0.4	5.2±0.3	5.2±0.2	5.1±0.3	5.1±0.2	5.1±0.1	5.4±0.1	5.3±0.3	5.1±0.2
C20:0	0.6±0.1	0.6±0.1	0.6±0.0	0.5±0.0	0.5±0.1	0.6±0.0	0.6±0.0	0.6±0.0	0.6±0.0
ΣSFA	34.3±0.4	34.3±0.9	34.8±0.2	34.0±0.3	34.0±0.2	33.9±0.2	33.7±0.3	33.9±0.8	34.4±0.6
C16:1	9.3±0.2	9.6±0.2	9.4±0.2	9.6±0.1	9.5±0.1	9.3±0.1	9.2±0.2	9.4±0.5	9.5±0.3
C18:1	23.1±0.5	22.7±0.2	23.3±0.2	23.8±0.6	23.2±0.5	23.5±0.6	22.9±0.3	23.3±0.6	23.2±0.9
C20:1	1.8±0.1	1.8±0.1	1.8±0.1	1.9±0.1	1.9±0.2	2.0±0.1	2.0±0.1	1.9±0.1	1.9±0.2
C24:1	0.4±0.0	0.4±0.1	0.4±0.0	0.4±0.0	0.4±0.1	0.4±0.1	0.5±0.1	0.5±0.3	0.4±0.0
ΣMUFA	34.6±0.6	34.5±0.5	34.8±0.4	35.6±0.7	35.0±0.3	35.2±0.5	34.4±0.7	35.1±0.9	35.0±0.8
C18:2	1.4±0.2 ^c	1.4±0.3 ^c	1.2±0.1 ^{ab}	1.1±0.1 ^a	1.1±0.1 ^a	1.2±0.0 ^{ab}	1.3±0.1 ^b	1.4±0.1 ^c	1.4±0.1 ^c
C18:3	0.1±0.0	0.1±0.0	0.1±0.0	0.1±0.0	0.1±0.0	0.1±0.0	0.1±0.0	0.1±0.0	0.1±0.0
C20:4	1.2±0.0 ^b	1.2±0.1 ^b	1.0±0.0 ^a	1.1±0.1 ^{ab}	1.1±0.0 ^{ab}	1.1±0.1 ^{ab}	1.3±0.1 ^c	1.3±0.00 ^c	1.3±0.1 ^c
C20:5(EPA)	5.2±0.3	5.1±0.1	5.1±0.1	4.9±0.3	4.9±0.2	5.1±0.2	5.0±0.1	5.0±0.1	5.0±0.2
C22:5	1.6±0.5 ^c	1.8±0.1 ^d	1.8±0.1 ^d	1.7±0.1 ^{cd}	1.8±0.1 ^d	1.8±0.0 ^d	1.3±0.2 ^b	1.2±0.1 ^{ab}	1.1±0.2 ^a
C22:6(DHA)	15.0±0.4 ^e	14.6±0.2 ^b	14.3±0.2 ^a	14.2±0.4 ^a	14.5±0.1 ^{ab}	14.5±0.2 ^b	15.1±0.5 ^c	14.8±0.7 ^b	14.4±0.4 ^{ab}
ΣPUFA	24.5±1.0 ^b	24.2±0.8 ^b	23.2±0.2 ^a	23.6±0.8 ^{ab}	23.5±0.6 ^a	23.7±0.9 ^{ab}	24.3±0.7 ^b	23.7±1.0 ^{ab}	23.3±0.6 ^a
Σn-3HUFA	21.8±1.0 ^b	21.5±0.9 ^{ab}	21.0±0.4 ^a	21.2±0.7 ^{ab}	21.2±0.7 ^{ab}	21.4±0.5 ^{ab}	21.4±0.6 ^{ab}	21.0±0.8 ^a	20.5±0.5 ^a
DHA/EPA	2.9±0.2 ^b	2.9±0.1 ^b	2.8±1.3 ^a	3.0±0.1 ^c	3.0±0.1 ^c	2.8±0.01 ^a	3.0±0.1 ^c	3.0±0.1 ^c	2.9±0.1 ^b

注: 1)ΣSFA为饱和脂肪酸总量, ΣMUFA为单不饱和脂肪酸总量, ΣPUFA为多不饱和脂肪酸总量, Σn-3HUFA为n-3高度不饱和脂肪酸总量, EPA为二十碳五烯酸, DHA为二十二碳六烯酸。2)含量较少的脂肪酸, 如C15:0, C17:0, C24:0, C14:1, C22:1, C20:2, C20:3, C20:2, C22:2, C24:0未列入表中

Notes: 1) ΣSFA is total saturated fatty acids (SFA), ΣMUFA is total monounsaturated fatty acids (MUFA), ΣPUFA is total polyunsaturated fatty acids (PUFA), Σn-3HUFA is total n-3 high unsaturated fatty acid (n-3HUFA), EPA is eicosapentaenoic acid, DHA is docosahexaenoic acid. 2) Some of trace amount or not detected fatty acids, such as C15:0, C17:0, C24:0, C14:1, C22:1, C20:2, C20:3, C20:2, C22:2, C24:0 were not shown in the table

回升至第7~14天的水平并保持相对稳定, 第42天再次降至最低水平, 第49天又回升到第35天的水平(表3)。禁食期间血清球蛋白(GLB)含量与血清TP含量变化趋势相似, 禁食前期含量持续下降而后呈波动性变化。血清白蛋白(ALB)含量在禁食后第3天出现小幅上升趋势, 之后出现上下波动的变化趋势, 波动范围在3.10~7.0 g/L之间。禁食后第3~21天白球比(A/G)出现上升趋势, 之后下降并维持相对稳定的比值($P>0.05$)。血清葡萄糖(GLU)含量在禁食后第3天出现小幅上升(由初始值8.31 mmol/L上升到8.73 mmol/L), 第7天出现显著性下降($P<0.05$), 之后至第21天出现显著

性变化, 波动较大($P<0.05$), 此后GLU含量维持在一个相对较低水平。

大黄鱼血清甘油三脂(TG)含量在禁食后第3天出现显著下降($P<0.05$), 此后出现上下波动且与实验初始值比较差异显著($P<0.05$)(表4)。总胆固醇(CHOL)含量在禁食前期(3~21 d)显著下降($P<0.05$), 28~49 d出现显著性上下波动($P<0.05$)。血清中高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)含量在禁食后14 d内基本维持在相对稳定的水平, 至第21天降至最低值($P<0.05$), 之后出现波浪式起伏变化。血清中低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量在禁食后第7~21天出现显著下降($P<0.05$), 第28~

表3 禁食对大黄鱼血清蛋白和血糖含量的影响

Tab. 3 Effect of fasting on serum protein and glucose contents of *L.crocea*

禁食时间/d fasting time	血清总蛋白/(g/L) TP	血清球蛋白/(g/L) GLB	血清白蛋白/(g/L) ALB	白球比 A/G	葡萄糖/(mmol/L) GLU
0	36.50±0.00 ^d	28.25±0.07 ^e	8.25±0.07 ^d	0.29 ^a	8.31±0.12 ^f
3	34.20±0.14 ^d	25.20±0.00 ^e	9.00±0.14 ^d	0.36 ^b	8.73±0.03 ^f
7	24.75±0.07 ^c	18.00±0.14 ^d	6.75±0.07 ^{bc}	0.38 ^b	6.12±0.06 ^d
14	23.85±0.21 ^c	16.85±0.21 ^c	7.00±0.00 ^c	0.42 ^c	7.28±0.05 ^c
21	16.20±0.14 ^b	11.55±0.21 ^b	4.65±0.07 ^a	0.40 ^c	4.06±0.11 ^a
28	24.05±0.07 ^c	17.60±0.14 ^{cd}	6.45±0.07 ^{bc}	0.37 ^b	5.99±0.02 ^c
35	22.05±0.07 ^c	16.40±0.00 ^c	5.65±0.07 ^b	0.34 ^b	6.12±0.01 ^d
42	11.55±0.07 ^a	8.45±0.07 ^a	3.10±0.00 ^a	0.37 ^b	5.72±0.01 ^{bc}
49	21.10±0.00 ^c	15.40±0.00 ^c	5.70±0.00 ^b	0.37 ^b	5.59±0.02 ^b

表4 禁食对大黄鱼血清脂类含量的影响

Tab. 4 Effect of fasting on serum lipid contents of *L.crocea*

禁食时间/d fasting time	甘油三酯 TG	总胆固醇 CHOL	高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C	低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C
0	11.40±0.00 ^a	18.51±0.03 ^a	2.58±0.00 ^a	3.23±0.01 ^a
3	4.62±0.04 ^b	14.96±0.00 ^b	2.58±0.00 ^a	3.10±0.13 ^a
7	2.62±0.01 ^d	6.37±0.04 ^d	2.58±0.00 ^a	0.66±0.01 ^c
14	1.42±0.02 ^f	5.10±0.09 ^f	2.56±0.01 ^a	0.29±0.01 ^c
21	1.24±0.00 ^f	3.39±0.00 ^b	1.61±0.02 ^c	0.26±0.00 ^c
28	2.02±0.01 ^e	5.86±0.09 ^c	2.58±0.00 ^a	0.61±0.01 ^c
35	2.19±0.11 ^e	6.67±0.01 ^d	2.58±0.00 ^a	0.60±0.28 ^c
42	0.63±0.01 ^g	4.29±0.01 ^g	1.88±0.02 ^b	0.39±0.01 ^d
49	3.09±0.01 ^c	10.02±0.00 ^c	2.58±0.00 ^a	1.48±0.04 ^b

35天又回升接近至第7天的水平($P<0.05$), 至第42天又显著下降($P<0.05$), 第49天再次出现大幅度上升($P<0.05$)。总之, 大黄鱼在禁食期间血清中各血脂含量变化趋势基本相似, 即禁食前期(0~21 d)均出现显著下降, 中期(28~35 d)保持相对稳定, 后期出现短暂下降(42 d)后再次反弹上升(49 d)。

大黄鱼血清碱性磷酸酶(ALP)活性在禁食后3 d内未发生变化, 从禁食后7~14 d出现显著上升($P<0.05$), 第14天达到最高值(21.5 IU/L), 第21天出现显著下降($P<0.05$), 此后ALP活性波动较小, 变动范围在5.5~8.0 IU/L, 基本与禁食后第14天相当。血清ALT、AST和LDH活性在禁食期间活性均出现波浪性起伏, 分别在禁食后第3 d和第

28天出现两处高峰值, 均显著高于禁食开始时的水平($P<0.05$)(表5)。在禁食后第42天均处于最低值, 禁食第42天之后又显著上升($P<0.05$), 但均显著低于禁食开始时的水平($P<0.05$)。大黄鱼血清中钠离子(Na^+)和氯离子(Cl^-)含量远高于钾离子(K^+)和钙离子(Ca^{2+})含量, 且 $\text{Na}^+>\text{Cl}^-$, $\text{K}^+>\text{Ca}^{2+}$ (表6)。这4种离子含量在禁食后第3天均显著上升($P<0.05$), 之后均出现上下波动变化。禁食后第7~28天血清 K^+ 含量均显著高于($P<0.05$)禁食开始时的水平, 之后显著下降并维持在相对稳定水平, 但均低于禁食开始时的水平($P<0.05$), Ca^{2+} 含量在禁食后第7天至实验结束期间出现波动式下降, 均低于禁食开始时的水平($P<0.05$)。与此相反, Na^+ 和 Cl^- 含量则出现波动式上升, 均高于禁食开

表 5 禁食对大黄鱼血清酶活性的影响
Tab. 5 Effect of fasting on serum enzyme activities of *L.crocea*

禁食时间/d fasting time	碱性磷酸酶 ALP	谷丙转氨酶 ALT	谷草转氨酶 AST	乳酸脱氢酶 LDH
0	13.00±0.00 ^b	7.00±0.00 ^c	55.00±1.41 ^c	1007.50±3.53 ^d
3	13.00±0.00 ^b	11.50±0.71 ^a	208.00±1.41 ^a	1280.00±7.07 ^a
7	21.00±0.00 ^a	7.50±0.71 ^c	90.50±2.12 ^d	1012.50±4.95 ^d
14	21.50±0.71 ^a	6.00±1.41 ^d	25.50±0.71 ^e	430.00±4.24 ^f
21	7.50±0.71 ^c	5.00±1.41 ^f	96.50±0.76 ^c	1152.00±9.90 ^e
28	7.50±0.71 ^c	9.00±2.83 ^b	116.50±0.71 ^b	1181.00±1.41 ^b
35	5.50±0.71 ^d	5.50±0.71 ^e	39.50±0.71 ^f	756.00±4.24 ^e
42	6.00±0.00 ^d	2.00±0.00 ^g	22.50±0.71 ^h	171.00±0.00 ^g
49	8.00±0.00 ^c	5.50±0.71 ^e	39.50±2.12 ^f	434.50±4.95 ^f

表 6 禁食对大黄鱼血清离子含量的影响
Tab. 6 Effect of fasting on serum ions contents of *L.crocea*

禁食时间/d fasting time	K ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻
0	5.47±0.04 ^c	2.95±0.01 ^b	156.00±2.83 ^c	131.00±0.00 ^c
3	8.24±0.11 ^a	3.25±0.01 ^a	163.00±1.41 ^b	137.00±0.71 ^a
7	6.67±0.08 ^c	2.06±0.01 ^d	156.00±0.00 ^c	131.50±0.71 ^c
14	7.15±0.29 ^b	2.27±0.01 ^c	162.00±0.00 ^b	135.50±0.71 ^a
21	7.21±0.08 ^b	1.91±0.01 ^e	157.50±2.12 ^c	137.00±1.41 ^a
28	6.57±0.06 ^c	2.25±0.00 ^c	156.00±1.41 ^c	133.50±0.71 ^b
35	4.38±0.06 ^e	1.77±0.04 ^f	156.00±0.00 ^c	132.00±1.41 ^b
42	4.72±0.13 ^f	1.68±0.01 ^g	161.00±1.41 ^b	137.50±0.71 ^a
49	4.61±0.16 ^f	2.05±0.04 ^d	165.00±0.00 ^a	133.50±2.12 ^b

始时的水平($P<0.05$), 但波动幅度相对较小。

3 讨论

3.1 禁食对养殖大黄鱼体成分的影响

鱼类处于禁食状态下会动用体内贮存的营养物质(蛋白质、脂肪和糖类)提供能量^[22-23]。然而, 不同鱼种、规格及禁食时间鱼体内营养代谢模式存在一定差异, 主要有3种能量提供机制: 其一是在禁食过程中主要消耗机体蛋白质作为能量来源^[24], 其二是主要依靠体内糖原、脂肪提供能量^[25], 还有一些鱼类在禁食初期主要以脂肪作为能量来源, 随着禁食时间的延长转为以代谢蛋白质作为能量主要来源^[26]。本研究结果显示, 大黄鱼在禁食过程中肌肉中脂肪含量在

禁食后第7天开始出现下降, 随着禁食时间的延长至第28天肌肉脂肪含量下降约11.5%, 第49天下降约27.4%。肌肉中粗蛋白含量在禁食后两周内变化不明显($P>0.05$), 至第21天出现显著下降($P<0.05$), 之后至实验结束期间稳定在一定的水平变化不明显($P>0.05$)。即大黄鱼在禁食期间肌肉脂肪含量出现持续下降趋势, 肌肉蛋白质出现短暂下降后稳定在一定水平。此变化趋势与张小东等^[27]的研究结果相类似, 表明大黄鱼在禁食期间脂肪是机体的主要能量来源。此外, 大黄鱼肌肉中水分和灰分的百分含量随着脂肪和蛋白质含量的下降而上升, 这是因为鱼体在禁食期间代谢自身贮存的营养物质提供能量, 体内的有机物含量下降, 导致水分和无机物含

量相对增加^[28]。

3.2 禁食对养殖大黄鱼肌肉脂肪酸组成的影响

禁食期间鱼类对体组织脂肪酸的利用情况因鱼种与组织不同存在一定差异,由于肝脏是机体的代谢中心,大多数鱼类禁食后肝脏的脂肪酸变化比肌肉及肠系膜较为明显^[29]。而且在禁食过程中鱼类一般先利用饱和脂肪酸,再利用低不饱和脂肪酸,最后才动用高度不饱和脂肪酸^[8],由于本研究肝脏样品用于检测其他生化指标,因此,缺乏肝脏各脂肪酸比例变化数据。但从肌肉检测结果得知大黄鱼在禁食期间肌肉中各脂肪酸比例变化较小,其中SFA和MUFA变化不明显($P < 0.05$),PUFA中的C18:2、C20:4、C22:5和C22:6及DHA/EPA比值呈波浪式变化,这与斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)和真鲷在禁食期间肌肉脂肪酸的变化趋势相似^[24],这可能是由于鱼类在饥饿状态下一方面尽可能降低代谢水平减少能量消耗,另一方面则保持一定代谢水平以保证在重新获得食物时或受到其他胁迫时能产生适当应激反应^[8]。但是,大黄鱼在禁食期间,肌肉中SFA和MUFA变化不明显,而 Σ PUFA和 $\Sigma n-3$ HUFA却呈现下降趋势,这与对太平洋鲑、点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)和鲩等鱼类的研究结果截然相反^[9, 14, 29],禁食期间鱼体内各脂肪酸代谢顺序出现这种差异可能与鱼种、规格或禁食条件不同有关,具体原因需要今后作进一步研究探讨。

3.3 禁食对养殖大黄鱼血清生化指标的影响

鱼类血液具有物质运输、防御、免疫、体液调节及维持内环境稳定等重要功能,血液生化指标的变化反映机体代谢、营养及生理状况^[30]。血清TP由ALB和GLB组成,ALB是血液中一种十分重要的载体,承载物质运输作用,同时具有维持血液胶体渗透压功能,GLB则具有免疫功能。大黄鱼禁食后血清TP、ALB在禁食后第3天开始下降,而GLB则出现小幅上升,之后均出现波动性变化,但三者总体均呈现下降趋势。禁食前期白球比(A/G)出现上升趋势,后期A/G则维持相对稳定,说明在禁食期间大黄鱼可能通过调节两种蛋白的比率来维持血液渗透压的平衡。这与乔志刚等^[31]对鲌(*Silurus asotus*)的研究结果相

似,与鲈、吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)在禁食期间血清蛋白先上升后下降的变化趋势不尽相同^[15, 32],这可能不同种类在不同禁食条件下(水温、盐度等)体内营养物质代谢状况不同有关。

血糖(GLU)是鱼类主要能量来源,稳定的血糖浓度对维持鱼类正常生命活动至关重要。大黄鱼禁食后第3天血清中GLU浓度有所升高,禁食后第7 d血清GLU浓度下降至约为初始值的74%,禁食后第14天下降至约为初始值的49%,第7~21天波动较大,之后虽有波动,但变化幅度较小。鱼类主要通过糖元分解和糖异生途径自我调节血糖浓度,禁食初期(3 d内)大黄鱼可能先分解肝糖元或肌糖元作为短暂能量来源,使得血糖浓度有小幅上升,鱼类这种受到外界应激后的高血糖反应在其他许多鱼类中也被发现^[33-34]。随着禁食时间的延长,由于大量血糖被分解以提供机体能量,血糖浓度降低,随后维持在一个相对较低的水平,主要是通过糖异生途径补充血糖浓度^[22, 35]。

本实验大黄鱼血清中的TG、CHOL和LDL-C在禁食后第3~21天出现显著性下降,CHO和LDL-C变化趋势相一致,而HDL-C则维持相对稳定。这可能是因为大黄鱼在禁食后缺乏来自食物的脂类供应,体内脂类合成代谢下降,从肝脏通过LDL运输至血液的胆固醇减少,同时为应对饥饿应激消耗血脂作为能量来源,使得TG、CHOL和LDL-C连续下降。禁食后期,大黄鱼为了节约能量消耗,尽可能减低体内脂类分解代谢水平,TG、CHOL和LDL-C出现上下波动,并且均维持在较低水平。ALT和AST主要存在于鱼类肝脏细胞中,正常情况下只有少量被释放到血液中,而当肝脏出现损伤时,ALT会被大量释放到血液中,从而引起血清中该酶活性增强或浓度上升^[36]。另外,由于ALT和AST都是存在于相应细胞组织的线粒体中,这两种酶的活性也与机体氨基酸的代谢强度有关^[37]。LDH是心肌正常功能维系的酶学指标,主要存在于鱼体的心肌细胞中,在心肌细胞损伤或细胞通透性增强时,该酶会被大量释放到血液中。ALP是一种膜结合蛋白,在机体内直接参与磷酸基团的转移和代谢,ALP是溶酶体酶的重要组成成分之一,在鱼体的免疫中也发挥着重要作用^[38]。大黄鱼在禁食初期血清中这4种酶的活性均出现短暂上升,之后下降并表现出周期性起伏性变化。但至实验结束时,

各酶活性均显著低于相应的初始值, 说明禁食49 d对大黄鱼肝脏和心脏机能没有产生严重的影响, 但鱼体内氨基酸的代谢强度可能出现减弱趋势。

鱼类血清中的离子在细胞代谢、渗透压调节及维持体液酸碱平衡等方面发挥重要作用。大黄鱼血清中 Na^+ 和 Cl^- 含量远高于 K^+ 和 Ca^{2+} 含量, 且 $\text{Na}^+ > \text{Cl}^-$, $\text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}$ 。从实验结果可知, 禁食对血清 K^+ 含量影响大于 Na^+ 和 Cl^- , 说明大黄鱼处于饥饿状态下 K^+ 对体内渗透压调节和酸碱平衡发挥重要作用。在禁食后第3~28天血清 K^+ 含量均显著高于禁食开始时的水平, 有利于提高其对渗透压和酸碱平衡的调节能力^[39]。随着禁食时间的延长 K^+ 含量下降, Na^+ 和 Cl^- 含量有所上升, 有研究认为这可能与细胞膜渗透压调节功能下降或通透性增强有关^[40]。血清 Ca^{2+} 在脂肪代谢过程中起着重要的作用, 禁食期间大黄鱼血清 Ca^{2+} 含量出现波动式下降, 可能与体内脂类代谢活动强弱变化过程有关。

结果表明, 大黄鱼在禁食期间血清中除了 Na^+ 和 Cl^- 含量出现波动性上升外, 其他的生化指标值均出现波动式下降, 呈现阶段性和锯齿状的起伏变化, 这可能是因为饥饿状态下大黄鱼既要尽量降低代谢速率, 又必须通过自身的调节维持其生存所必需的代谢速率。

参考文献:

- [1] Hung S S O, Liu W, Li H B, *et al.* Effect of starvation on some morphological and biochemical parameters in white sturgeon, *Acipenser transmontanus*[J]. Aquaculture, 1997, 151(1-4): 357-363.
- [2] Davis K B, Gaylord T G. Effect of fasting on body composition and responses to stress in sunshine bass[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A, 2011, 158(1): 30-36.
- [3] Caruso G, Maricchiolo G, Micale V, *et al.* Physiological responses to starvation in the European eel (*Anguilla anguilla*): Effects on haematological, biochemical, non-specific immune parameters and skin structures[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2010, 36(1): 71-83.
- [4] Grigorakis K, Alexis M N. Effects of fasting on the meat quality and fat deposition of commercial-size farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) fed different dietary regimes[J]. Aquaculture Nutrition, 2005, 11(5): 341-344.
- [5] 杜震宇, 刘永坚, 田丽霞, 等. 饥饿对于鲈肌肉、肝脏和血清主要生化组成的影响[J]. 动物学报, 2003, 49(4): 458-465.
- 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 (*Lateolabrax japonicus*)[J]. Acta Zoologica Sinica, 2003, 49(4): 458-465(in Chinese).
- [6] 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.
- Shen W Y, Lin H R, Zhang W M. Effect of starvation and refeeding on biochemical composition in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fingerling[J]. Acta Zoologica Sinica, 1999, 45(4): 404-412(in Chinese).
- [7] 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.
- 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, 24(3): 206-210(in Chinese).
- [8] 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.
- Xie X J, Deng L, Zhang B. Advances and studies on ecophysiological effects of starvation on fish[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1998, 22(2): 181-188(in Chinese).
- [9] 陈斌, 冯健, 吴彬, 等. 饥饿对太平洋鲑(*Oncorhynchus* spp.)鱼体脂肪与脂肪酸的影响[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(6): 1247-1253.
- Chen B, Feng J, Wu B, *et al.* The effects of starvation on fat and fatty acids composition in Pacific Salmon (*Oncorhynchus* spp.)[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(6): 1247-1253(in Chinese).
- [10] Kiessling A, Johansson L, Storebakken T. Effects of reduced feed ration levels on fat content and fatty acid composition in white and red muscle from rainbow trout[J]. Aquaculture, 1989, 79(1-4): 169-175.
- [11] Murata H, Higashi T. Selective utilization of fatty acid as energy source in carp[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1980, 46(11): 1333-1338.
- [12] Zamal H, Ollevier F. Effect of feeding and lack of food on the growth, gross biochemical and fatty acid composition of juvenile catfish[J]. Journal of Fish Biology, 1995, 46(3): 404-414.

- [13] Koven W M, Kissil G W, Tandler A. Lipid and *n-3* requirement of *Sparus aurata* larvae during starvation and feeding[J]. *Aquaculture*, 1989, 79(1-4): 185-191.
- [14] 柳敏海, 罗海忠, 傅荣兵, 等. 短期饥饿胁迫对鳊鱼生化组成、脂肪酸和氨基酸组成的影响[J]. *水生生物学学报*, 2009, 33(2): 230-235.
Liu M H, Luo H Z, Fu R B, *et al.* Biochemical composition amino acid and fatty acid composition in juvenile of *Miichthys miuy* under short-time starvation[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(2): 230-235(in Chinese).
- [15] 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.
Qian Y X, Chen H Q, Sun J F. Effects of starvation on hematological and blood biochemical indices in cultured *Lateolabrax japonicus*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2002, 9(2): 133-137(in Chinese).
- [16] 冯广朋, 庄平, 章龙珍, 等. 饥饿期间中华鲟幼鱼血液与肝脏酶活力的变化[J]. *海洋渔业*, 2011, 33(2): 165-171.
Feng G P, Zhuang P, Zhang L Z, *et al.* Changes of enzyme activity in blood and liver of juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) during starvation[J]. *Marine Fisheries*, 2011, 33(2): 165-171(in Chinese).
- [17] 林焕亮. 2004年我国鱼类养殖产量、构成与展望[J]. *渔业现代化*, 2005(6): 3-5.
Lin H L. The present status and prospects for fisheries aquaculture in China[J]. *Fishery Modernization*, 2005(6): 3-5(in Chinese).
- [18] 刘家富, 刘招坤. 福建闽东大黄鱼 *Larimichthys crocea* (Richardson) 产业展望[J]. *现代渔业信息*, 2008, 23(12): 3-5.
Liu J F, Liu Z K. Outlook for large yellow croaker *Larimichthys crocea* (Richardson) industry in Mindong[J]. *Modern Fisheries Information*, 2008, 23(12): 3-5(in Chinese).
- [19] Zhang X D, Zhu Y F, Cai L S, *et al.* Effects of fasting on the meat quality and antioxidant defenses of market-size farmed large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*)[J]. *Aquaculture*, 2008, 280(1-4): 136-139.
- [20] Folch J, Lees M, Sloane Stanley G H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues[J]. *The Journal of Biology Chemistry*, 1957, 226(1): 497-509.
- [21] Takeuchi T. Laboratory work: Chemical evaluation of dietary nutrients[M]//Watanabe T. *Fish Nutrition and Marine Culture*. Tokyo: JICA, 1988: 179-246.
- [22] Sheridan M A, Mommsen T P. Effects of nutritional state on *in vivo* lipid and carbohydrate metabolism of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*[J]. *General and Comparative Endocrinology*, 1991, 81(3): 473-483.
- [23] 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.
- [24] 林黑着, 刘永坚, 何建国, 等. 饥饿对斜带石斑鱼肝脏和肌肉脂肪酸组成的影响[J]. *南方水产*, 2006, 2(4): 1-6.
Lin H Z, Liu Y J, He J G, *et al.* Effects of starvation on fatty acid composition of muscle and liver in grouper, *Epinephelus coioides*[J]. *South China Fisheries Science*, 2006, 2(4): 1-6(in Chinese).
- [25] 姜志强, 贾泽梅, 韩延波. 美国红鱼继饥饿后的补偿生长及其机制[J]. *水产学报*, 2002, 26(1): 67-72.
Jiang Z Q, Jia Z M, Han Y B. The compensatory growth and its mechanism of red drum, *Sciaenops ocellatus*, after food deprivation[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2002, 26(1): 67-72(in Chinese).
- [26] 吴立新, 蔡勋, 陈炜. 饥饿和再喂食对泥鳅生化组成的影响[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(1): 101-104.
Wu L X, Cai X, Chen W. Effects of starvation and refeeding on biochemical compositions of *Misgurnus anguillicaudatus*[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(1): 101-104(in Chinese).
- [27] 张小东. 提升养殖黑鲟脂肪酸品质若干营养调控技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
Zhang X D. Meat quality study with commercial-size farmed *Sparus macrocephalus*[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007(in Chinese).
- [28] 封功能, 杨文平, 王爱民, 等. 饥饿胁迫对鲤形体、体成分及血液生理指标的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2011, 20(6): 814-819.
Feng G N, Yang W P, Wang A M, *et al.* Effects of starvation stress on body shape, chemical composition and blood physiological of *Cyprinus carpio*[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2011, 20(6): 814-819(in Chinese).
- [29] 陈波, 柳敏海, 施兆鸿, 等. 饥饿和再投饲对点带石斑

- 鱼幼鱼脂肪酸和氨基酸组成的影响[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(6): 674-679.
- Chen B, Liu M H, Shi Z H, *et al.* The effects of starvation and re-feeding on fatty acid and amino acid composition in juvenile of *Epinephelus malabaricus* Bloch & Schneider[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(6): 674-679(in Chinese).
- [30] 周玉, 郭文场, 杨振国, 等. 鱼类血液学指标研究的进展[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(2): 163-165.
- Zhou Y, Guo W C, Yang Z G, *et al.* Advances in the study of haematological indices of fish[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2001, 10(2): 163-165(in Chinese).
- [31] 乔志刚, 张建平, 牛景彦, 等. 饥饿和再投喂对鲑血液生理生化指标的影响[J]. 水生生物学报, 2008, 32(5): 631-636.
- Qiao Z G, Zhang J P, Niu J Y, *et al.* Effects of starvation and refeeding on the blood indices of *Silurus asotus*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2008, 32(5): 631-636(in Chinese).
- [32] 刘波, 何庆国, 唐永凯, 等. 饥饿胁迫对吉富罗非鱼生长及生理生化指标的影响[J]. 中国水产科学, 2009, 16(2): 230-237.
- Liu B, He Q G, Tang Y K, *et al.* Effects of starvation on growth, physiological and biochemical parameter of GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(2): 230-237(in Chinese).
- [33] Sun L T, Chen G R, Chang C F. The physiological responses of tilapia exposed to low temperature[J]. Journal of Thermal Biology, 1992, 17(3): 149-153.
- [34] Carragher J F, Rees C M. Primary and secondary stress responses in golden perch, *Macquaria ambigua*[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology, 1994, 107(1): 49-56.
- [35] 金鑫, 徐钢春, 杜富宽, 等. 饥饿胁迫对刀鲚形体、体成分及血液生化指标的影响[J]. 动物学杂志, 2014, 49(6): 897-903.
- Jin X, Xu G C, Du F K, *et al.* Impacts of starvation stress on morphological change, chemical composition and blood biochemical parameters in *Coilia nasus*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2014, 49(6): 897-903(in Chinese).
- [36] 章龙珍, 王好, 庄平, 等. 光照对中华鲟幼鱼生长及血液生化指标的影响[J]. 海洋渔业, 2010, 32(2): 141-147.
- Zhang L Z, Wang Y, Zhuang P, *et al.* The influences of illumination on growth, haematological and biochemical indices of juvenile Chinese sturgeon *Acipenser sinensis*[J]. Marine Fisheries, 2010, 32(2): 141-147(in Chinese).
- [37] 聂国兴, 明红, 郑俊林, 等. 木聚糖酶对尼罗罗非鱼血液生理生化指标的影响[J]. 大连水产学院学报, 2007, 22(5): 361-365.
- Nie G X, Ming H, Zheng J L, *et al.* Effect of xylanase on blood physiological-biochemical parameters of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2007, 22(5): 361-365(in Chinese).
- [38] 孙虎山, 李光友. 栉孔扇贝血淋巴中ACP和AKP活性及其电镜细胞化学研究[J]. 中国水产科学, 1999, 6(4): 6-9.
- Sun H S, Li G Y. The activities and their electron microscopic cytochemistry study of AKP and ACP in haemolymph of *Chlamys farreri*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1999, 6(4): 6-9(in Chinese).
- [39] 陈超, 施兆鸿, 薛宝贵, 等. 低温胁迫对七带石斑鱼幼鱼血清生化指标的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(8): 1249-1255.
- Chen C, Shi Z H, Xue B G, *et al.* Influence of low-temperature stress on serum biochemical parameters in juvenile *Epinephelus septemfasciatus*[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(8): 1249-1255(in Chinese).
- [40] 冀德伟, 李多云, 王天柱, 等. 不同低温胁迫时间对大黄鱼血清生化指标的影响[J]. 水产科学, 2009, 28(1): 1-4.
- Ji D W, Li M Y, Wang T Z, *et al.* Effects of low temperature stress periods on serum biochemical indexes in large yellow croaker *Pseudosciaena crocea*[J]. Fisheries Science, 2009, 28(1): 1-4(in Chinese).

Effect of fasting on body composition, muscle fatty acid profiles and serum biochemical parameters of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)

ZHANG Zhenyu, WANG Qiurong*, YE Kun, WANG Zhiyong

(Key Laboratory of Healthy Mariculture for the East China Sea, Ministry of Agriculture, Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: This study was conducted to determine the effect of fasting on body composition, muscle fatty acid profiles and biochemical parameters of serum in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). 105 net-cage cultured healthy fish with similar body weight (249.07 ± 7.28 g) were selected for fasting experiment. The muscle and blood were sampled from experimental fish after 0, 3, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 days of fasting for chemical analysis, respectively. The results showed that moisture and crude ash of muscle increased and crude fat decreased during fasting period. The protein content of muscle significantly decreased at 21 days of fasting and then remained constant. Saturated fatty acid (SFA) and monounsaturated fatty acid (MUFA) content in muscle showed no significant change ($P > 0.05$), while the total polyunsaturated fatty acid (PUFA) and n-3 high unsaturated fatty acid (n-3HUFA) content significantly decreased at the end of experiment. The activities of serum alanine transaminase (ALT), glutamic-oxaloacetic transaminase (AST), lactate dehydrogenase (LDH) and the contents of serum glucose (GLU), Kalium (K^+), sodium (Na^+), calcium (Ca^{2+}) and chloride (Cl^-) significantly increased, while serum triglyceride (TG), Cholesterol (CHOL) contents significantly reduced after 3 days of fasting. Nevertheless serum total protein (TP), high density lipoprotein cholesterol (HDL-C), low density lipoprotein cholesterol (LDL-C) contents and alkaline phosphatase (ALP) activity keep relatively stable ($P > 0.05$). The content of GLU, protein, lipid and metabolic enzymes activities in serum fluctuated decrease with prolongation of fasting, while Na^+ and Cl^- content fluctuated increase. The results suggested that large yellow croaker main used body lipid as energy source during fasting period. The nutrient metabolism intensity showed wave-like fluctuated and turn weak as fasting time going by. But the immunity and metabolism function of large yellow croaker were not significantly harmed by long time fasting.

Key words: *Larimichthys crocea*; fasting; body composition; fatty acid; serum; biochemical parameters

Corresponding author: WANG Qiurong. E-mail: wqiurong@126.com

Funding projects: Key Programs for Science and Technology of Fujian Province (2005N0011); Chinese National Natural Science Foundation (U1205122); Major Program of Xiamen South Ocean Research Center (14GZY70NF34).