



## 发酵豆粕、肉骨粉及其混合物替代鱼粉对大口黑鲈生长、血清生化指标和肠道组织学的影响

卞宇豪<sup>1,2,3</sup>, 杨航<sup>1,2,3</sup>, 许晓莹<sup>1,2,3</sup>, 林夏<sup>1,2,3</sup>,  
曹凯林<sup>1,2,3</sup>, 李小勤<sup>1,2,3</sup>, 冷向军<sup>1,2,3\*</sup>

- (1. 上海海洋大学水产与生命学院, 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306;  
2. 上海海洋大学水产与生命学院, 农业农村部鱼类营养与环境生态研究中心, 上海 201306;  
3. 上海海洋大学水产与生命学院, 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306)

**摘要:** 为探究 2 种蛋白源单一和混合替代鱼粉对大口黑鲈生长性能、血清生化指标和肠道组织学的影响, 实验用发酵豆粕 (FSM)、肉骨粉 (MBM) 和发酵豆粕+肉骨粉 (FSM+MBM) 混合物 (1:1) 等蛋白替代基础饲料 (FM, 含鱼粉 350 g/kg) 中 150 g/kg 的鱼粉, 使鱼粉含量降为 200 g/kg, 共配制成 4 种等氮等脂的实验饲料, 记为 FM (对照组)、FSM、MBM 和 FSM+MBM 组, 投喂初始体质量为 (21.2±0.1) g 的大口黑鲈 8 周。结果显示, 与对照组相比, 各替代组的增重率均无显著差异, 但 FSM 组的增重率显著低于 FSM+MBM 组。此外, FSM 组的饲料系数较对照组和 MBM 组显著升高。各组在全鱼成分 (水分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分) 和干物质消化率、蛋白质消化率以及蛋白质沉积率上无显著差异, 而 FSM 组的蛋白质效率和脂肪沉积率显著低于对照组。此外, FSM 组的血清谷草转氨酶显著增加, 而血清总抗氧化能力以及超氧化物歧化酶、溶菌酶活性显著降低。在前肠形态学方面, 各替代组的绒毛宽度均显著低于对照组, FSM 组的绒毛高度、肌层厚度以及绒毛周长显著高于对照组。以上结果表明, 在鱼粉含量为 350 g/kg 的饲料中, MBM、FSM+MBM 混合物可以有效替代 150 g/kg 的鱼粉 (鱼粉含量降至 200 g/kg), 不会影响大口黑鲈的生长性能、营养物质利用率、抗氧化能力、非特异性免疫和肠道健康, FSM+MBM 混合物替代鱼粉的效果优于 FSM。本研究结果可为大口黑鲈饲料中蛋白源的开发和低鱼粉饲料的配制提供依据。  
**关键词:** 大口黑鲈; 发酵豆粕; 肉骨粉; 生长性能; 营养物质利用; 血清生化指标; 肠道组织学

中图分类号: S 963

文献标志码: A

大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 俗称加州鲈, 温水肉食性鱼类, 原产于北美, 20 世纪 80 年代初引入我国大陆。因其肉质鲜美、营养价值高、抗病力强, 在中国已广泛养殖。近年来养殖产业发展迅速, 2020 年全国大口黑鲈产量已达到 62.0

万 t<sup>[1]</sup>, 是我国淡水养殖重要品种之一。大口黑鲈对饲料中蛋白质的营养需求较高, 商业饲料中的鱼粉含量一般可达 40%~50%。但随着全球水产饲料对鱼粉的需求量急剧增加, 导致鱼粉价格持续上涨。因此, 研究寻找适宜的蛋白源替代鱼粉成

收稿日期: 2021-11-11 修回日期: 2021-12-23

资助项目: 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新—水产养殖动物新型蛋白源开发与高效饲料研制” (2019YFD0900203)

第一作者: 卞宇豪 (照片), 从事水产动物营养与饲料研究, E-mail: 1137101080@qq.com

通信作者: 冷向军, 从事水产动物营养与饲料研究, E-mail: xjleng@shou.edu.cn



为水产养殖业急需解决的问题。

在豆粕中接种特定的微生物,通过微生物的发酵消减豆粕中的抗营养因子,并产生活性小肽、有机酸、益生菌以及黄酮类等活性物质,可得到发酵豆粕产品<sup>[2]</sup>。目前水产饲料中有关发酵豆粕(FSM)替代鱼粉的研究已见于大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)<sup>[3]</sup>、布氏鲳鲙(*Trachinotus blochii*)<sup>[4]</sup>、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)<sup>[5]</sup>、大口黑鲈<sup>[6]</sup>、尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)<sup>[7]</sup>和凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)<sup>[8]</sup>等。在这些研究中,根据菌种、加工工艺、鱼种、生长阶段以及饲料鱼粉含量等因素,发酵豆粕替代鱼粉的比例范围在20%~45%不等。

肉骨粉(MBM)是以新鲜无变质的家畜躯干、骨等废弃组织作为原料,经过加热、干燥和粉碎后制成的产品。因原料组成和肉、骨的比例以及制作工艺不同,肉骨粉的质量有所差异。但总体来看,其粗蛋白含量高、价格较鱼粉低,是替代鱼粉的优质动物蛋白源。有关肉骨粉替代鱼粉的研究,在乌鳢(*Channa argus*)<sup>[9]</sup>、大黄鱼(*Larimichthys crocea*)<sup>[10]</sup>、黄鳝(*Monopterus albus*)<sup>[11]</sup>、大口黑鲈<sup>[12]</sup>、吉富罗非鱼(GIFT *O. niloticus*)<sup>[13]</sup>和大菱鲂<sup>[14]</sup>上已有报道。

和鱼粉相比,这些单一蛋白源存在氨基酸平衡性差以及消化率不佳等问题,将不同蛋白源混合使用,可使其营养成分相互补充。关于动植物复合蛋白源替代鱼粉的实验已报道于杂交鳢(*C. maculata*♀×*C. argus*♂)<sup>[15]</sup>、许氏平鲈(*Sebastes schlegelii*)<sup>[16]</sup>、大菱鲂<sup>[17]</sup>、大口黑鲈<sup>[12]</sup>和虹鳟<sup>[18]</sup>等。

在生产上,发酵豆粕和肉骨粉常用于替代部分鱼粉,二者替代鱼粉的效果是否存在差异?二者混合添加是否具有协同效应?故本实验以发酵豆粕、肉骨粉以及发酵豆粕+肉骨粉混合物在替代同等比例鱼粉条件下,比较对大口黑鲈生长性能、血清生化指标和肠道组织结构的影响,为大口黑鲈饲料中蛋白源的开发和低鱼粉饲料的配制提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验设计与实验饲料

根据大口黑鲈的营养需求,配制鱼粉含量为350 g/kg的基础饲料(对照组,FM)。用发酵豆粕(FSM)、肉骨粉(MBM)和发酵豆粕+肉骨粉(FSM+MBM)混合物(1:1)等蛋白替代对照组饲料中

150 g/kg的鱼粉,使其鱼粉含量均降为200 g/kg,共配置4种等氮等脂的饲料。各组饲料中加入0.05%氧化钼作为指示剂,用于消化率的测定。

发酵豆粕由益海嘉里(防城港)生物科技有限公司提供,以乳酸菌固体发酵72 h制得,水分含量为95.0 g/kg、粗蛋白500.0 g/kg、粗脂肪10.0 g/kg、粗纤维32.4 g/kg、粗灰分69.0 g/kg、小肽含量≥80 g/kg、有机酸含量≥35 g/kg。肉骨粉为澳大利亚进口原料,由山东东阳饲料原料厂提供,以牛肉、牛骨等作为原料制成,粗蛋白质量450.0 g/kg、粗脂肪含量85.0 g/kg、粗灰分含量317.0 g/kg。

原料粉碎后过60目筛网,按饲料配方称重,逐级混匀,加入适量的水,充分混匀。采用单螺杆挤压机(SLP-45,中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所)制成直径为2 mm的沉性颗粒饲料[制粒温度(90±5)°C],自然风干备用。饲料配方组成和常规营养成分见表1。

### 1.2 实验鱼及饲养管理

实验用大口黑鲈采购自浙江湖州,以商品饲料暂养驯化4周后,挑选300尾体质量为(21.2±0.1)g的健康个体进行养殖实验。实验共设置4个处理组,每处理组3个重复(养殖桶直径1.0 m,高1.0 m,水体积550 L),每重复随机放25尾鱼。养殖用水为循环水,每桶流量为10 L/min。水源为曝气处理后溶氧充足的自来水,水质参数:水温26~30 °C,溶解氧≥5.0 mg/L, pH 6.8~7.5,氨氮含量≤0.1 mg/L,亚硝酸盐含量≤0.1 mg/L。养殖期间,采用近饱食投喂方式喂食,每天2次(08:00、16:00),日投饲率为2.0%~4.0%,并根据温度和天气情况进行调整,各桶投饲量保持一致。每天夜间采用虹吸方式吸走桶底粪便,每周换水1次,换水量为循环系统的三分之一。养殖实验于上海海洋大学滨海基地进行,共56 d。

### 1.3 样品采集

养殖实验开始时,取10尾大口黑鲈作为初始全鱼样本。养殖实验结束后,鱼体饥饿24 h,记录每桶鱼的尾数和总质量,并统计采食量,计算存活率(SR)、增重率(WG)、平均日采食量(ADFI)和饲料系数(FCR)。各桶随机取3尾鱼,用于全鱼常规营养成分分析。另每桶随机取6尾麻醉后的大口黑鲈测量体长、体质量,计算肥满度(CF)。用注射器从尾静脉抽血,并立即离心(3 000 r/min, 10 min)取上清液,保存于-80 °C冰箱备用,用于

表 1 实验饲料组成和营养水平 (风干基础)

Tab. 1 Composition and nutrient levels of the experimental diets (air-dry basis)		g/kg			
原料 <sup>1</sup>	ingredients	FM	FSM	MBM	FSM+MBM
鱼粉	fish meal	350.0	200.0	200.0	200.0
发酵豆粕	fermented soybean meal	0	224.7	0	118.8
肉骨粉	meat and bone meal	0	0	255.2	118.8
大豆浓缩蛋白	soy protein concentrate	80.0	80.0	80.0	80.0
豆粕	soybean meal	80.0	80.0	80.0	80.0
玉米蛋白	corn gluten meal	60.0	60.0	60.0	60.0
面粉	wheat flour	189.5	102.3	84.3	98.6
谷朊粉	wheat gluten meal	40.0	40.0	40.0	40.0
啤酒酵母	brewer's yeast	40.0	40.0	40.0	40.0
鱼油	fish oil	30.0	42.5	30.0	33.3
豆油	soybean oil	30.0	30.0	30.0	30.0
大豆磷脂	soybean phospholipid	30.0	30.0	30.0	30.0
鱿鱼膏	squid visceral meal	40.0	40.0	40.0	40.0
矿物质预混料 <sup>2</sup>	mineral premix	25.0	25.0	25.0	25.0
维生素预混料 <sup>3</sup>	vitamin premix	5.0	5.0	5.0	5.0
氧化钇	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	0.5	0.5	0.5
合计	total	1 000.0	1 000.0	1 000.0	1 000.0
常规组成 <sup>4</sup> proximate composition					
水分	moisture	87.2	89.9	89.7	91.7
粗蛋白质	crude protein	432.4	428.7	437.3	438.1
粗脂肪	crude lipid	117.7	123.7	110.5	116.5
粗灰分	crude ash	110.6	100.3	154.0	127.5

注: 1. 饲料原料购于浙江粤海饲料公司, 原料中含粗蛋白质分别为鱼粉670 g/kg、大豆浓缩蛋白650 g/kg、豆粕459 g/kg、面粉136 g/kg、玉米蛋白600 g/kg、谷朊粉769 g/kg、啤酒酵母524 g/kg; 2. 矿物质预混料为每千克饲料提供铁63 mg、铜3 mg、锌89 mg、锰11.45 mg、钴0.6 mg、硒0.24 mg、碘1.5 mg、镁180 mg; 3. 维生素预混料为每千克饲料提供维生素A 10 000 IU、维生素D<sub>3</sub> 3 000 IU、维生素E<sub>1</sub> 50 IU、维生素K<sub>3</sub> 12.17 mg、维生素B<sub>1</sub> 20 mg、维生素B<sub>2</sub> 20 mg、维生素B<sub>3</sub> 100 mg、维生素B<sub>6</sub> 22 mg、维生素B<sub>12</sub> 0.15 mg、生物素0.6 mg、叶酸8 mg、肌醇500 mg; 4. 常规组成为实测值

Notes: 1. the ingredients were purchased from the Yuehai Feed Company (Zhejiang, China), and the crude protein contents of ingredients are fish meal 670 g/kg, soy protein concentrate 650 g/kg, soybean meal 459 g/kg, wheat flour 136 g/kg, corn gluten meal 600 g/kg, wheat gluten meal 769 g/kg, brewer's yeast 524 g/kg; 2. mineral premix provided (per kg) Fe 63 mg, Cu 3 mg, Zn 89 mg, Mn 11.45 mg, Co 0.6 mg, Se 0.24 mg, I 1.5 mg, Mg 180 mg; 3. vitamin premix provided (per kg of diets) V<sub>A</sub> 10 000 IU, V<sub>D<sub>3</sub></sub> 3 000 IU, V<sub>E<sub>1</sub></sub> 50 IU, V<sub>K<sub>3</sub></sub> 12.17 mg, V<sub>B<sub>1</sub></sub> 20 mg, V<sub>B<sub>2</sub></sub> 20 mg, V<sub>B<sub>3</sub></sub> 100 mg, V<sub>B<sub>6</sub></sub> 22 mg, V<sub>B<sub>12</sub></sub> 0.15 mg, biotin 0.6 mg, folic acid 8 mg, inositol 500 mg; 4. proximate composition was measured values

检测血清生化指标。将采血后的大口黑鲈置于冰盘上, 取出内脏团, 分离肝脏, 称量内脏和肝脏质量, 计算脏体比 (VSI) 和肝体比 (HSI); 取前肠放入 Bouin 氏固定液中, 用于制作肠道组织切片。粪便从养殖试验的第 4 周开始收集。每次喂食后 1~2 h, 用虹吸方法收集粪便, 取包膜完整的粪便于 -20 °C 冰箱中保存待测。

#### 1.4 测定指标与方法

生长指标与形体指标 生长与形体相关指标计算公式:

存活率 (SR, %) = 末尾数 / 初尾数 × 100%;

增重率 (WG, %) = [末均质量 (g) - 初均质量

(g)] / 初均质量 (g) × 100%;

饲料系数 (FCR) = 投喂量 / [末均质量 (g) - 初均质量 (g)];

肥满度 (CF, g/cm<sup>3</sup>) = 体质量 (g) / 体长<sup>3</sup> (cm<sup>3</sup>);

平均日采食量 (ADFI, g) = 总摄食量 (g) / [末尾数 × 实验天数 (d)];

肝体比 (HSI, %) = 肝脏质量 (g) / 体质量 (g) × 100%;

脏体比 (VSI, %) = 内脏质量 (g) / 体质量 (g) × 100%。

饲料、粪便、全鱼组成和营养物质消化率、沉积率 饲料、粪便和全鱼常规成分测定方法: 水分含量的测定采用 105 °C 烘干法; 粗蛋白质含

量的测定采用凯氏定氮法；粗脂肪含量的测定采用氯仿-甲醇抽提法；粗灰分含量的测定采用马弗炉灰化法。饲料、粪便中  $Y_2O_3$  含量采用电感耦合等离子体原子发射光谱法测定 (ICAP Q-MS 电感耦合等离子体质谱仪, Thermo iCAP Q, 美国)。

干物质表观消化率 (ADDM)、粗蛋白质表观消化率 (ADCP)、蛋白质效率 (PER)、蛋白质沉积率 (PRR) 和脂肪沉积率 (LRR), 计算公式:

干物质表观消化率 (ADDM, %) =  $[1 - \text{饲料钪含量}(\%) / \text{粪便钪含量}(\%)] \times 100\%$ ;

粗蛋白质表观消化率 (ADCP, %) =  $\{1 - [\text{饲料钪含量}(\%) \times \text{粪便粗蛋白含量}(\%) / \text{粪便钪含量}(\%) \times \text{饲料粗蛋白含量}(\%)]\} \times 100\%$ ;

蛋白质效率 (PER) =  $[\text{末均重}(\text{g}) - \text{初均重}(\text{g})] / \text{摄食蛋白量}$ ;

蛋白质沉积率 (PRR, %) =  $[\text{末均重}(\text{g}) \times \text{末全鱼粗蛋白含量}(\%) - \text{初均重}(\text{g}) \times \text{初全鱼粗蛋白含量}(\%)] / [\text{投喂量}(\text{g}) \times \text{饲料粗蛋白含量}(\%)] \times 100\%$ ;

脂肪沉积率 (LRR, %) =  $[\text{末均重}(\text{g}) \times \text{末全鱼粗脂肪含量}(\%) - \text{初均重}(\text{g}) \times \text{初全鱼粗脂肪含量}(\%)] / [\text{投喂量}(\text{g}) \times \text{饲料粗脂肪含量}(\%)] \times 100\%$

血清生化指标 血清总蛋白 (TP)、白蛋白 (ALB)、球蛋白 (GLO)、谷草转氨酶 (AST)、谷丙转氨酶 (ALT)、超氧化物歧化酶 (SOD)、溶菌酶 (LZM)、过氧化氢酶 (CAT) 和总抗氧化能力 (T-AOC), 使用上海哈灵生物科技有限公司生产的相应试剂盒测定。

## 1.5 肠道组织切片

前肠组织放入 Bouin 氏固定液固定 48 h 后,

分别经乙醇脱水、二甲苯透明、石蜡包埋、切片 (厚度为 7  $\mu\text{m}$ ) (Leica RM2235 切片机, 德国) 和苏木精-伊红 (H.E) 染色, 最后在光镜下观察肠绒毛形态特征并拍照 (Nikon YS100 显微摄影系统), 用显微测微尺测量绒毛高度、宽度以及肌层厚度和绒毛周长。

## 1.6 数据处理

数据以平均值  $\pm$  标准差 (mean  $\pm$  SD) 表示, 采用 SPSS 24.0 分析软件进行 ANOVA 单因子方差分析和 Tukey 氏多重检验, 以  $P < 0.05$  作为差异显著性判断标准。

## 2 结果

### 2.1 生长性能和形体指标

经 56 d 养殖后, 各组大口黑鲈生长良好, 成活率均为 100%。与对照组相比, 各替代组的增重率均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。在 3 个鱼粉替代组中, FSM 组的增重率显著低于 FSM+MBM 组 ( $P < 0.05$ ), FSM 组的饲料系数也较对照组和 MBM 组显著升高 ( $P < 0.05$ )。此外, FSM 组的肝体比和脏体比显著降低 ( $P < 0.05$ )。各组肥满度和日平均摄食量没有显著差异 ( $P > 0.05$ ) (表 2)。

### 2.2 全鱼成分

各组的全鱼水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量均无显著差异 ( $P > 0.05$ ) (表 3)。

### 2.3 营养物质利用率

FSM 组的蛋白质效率和脂肪沉积率较对照组

表 2 发酵豆粕、肉骨粉及其混合物替代鱼粉对大口黑鲈生长性能和形体指标的影响

Tab. 2 Effects of replacing fish meal with FSM, MBM and FSM+MBM on growth performance and physical index of *M. salmoides*

项目 items	FM	FSM	MBM	FSM+MBM
初均质量/g IBW	21.16 $\pm$ 0.11	21.17 $\pm$ 0.02	21.21 $\pm$ 0.02	21.21 $\pm$ 0.02
末均质量/g FBW	100.39 $\pm$ 2.98 <sup>ab</sup>	97.93 $\pm$ 2.99 <sup>b</sup>	101.32 $\pm$ 1.64 <sup>ab</sup>	102.45 $\pm$ 2.82 <sup>a</sup>
增重率/% WG	374.40 $\pm$ 12.86 <sup>ab</sup>	362.54 $\pm$ 14.62 <sup>b</sup>	377.62 $\pm$ 7.20 <sup>ab</sup>	382.96 $\pm$ 12.77 <sup>a</sup>
饲料系数 FCR	0.95 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	1.05 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	0.97 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	1.00 $\pm$ 0.03 <sup>ab</sup>
日平均摄食量/g ADFI	1.35 $\pm$ 0.07	1.44 $\pm$ 0.12	1.39 $\pm$ 0.04	1.45 $\pm$ 0.06
成活率/% SR	100	100	100	100
肥满度/(g/cm <sup>3</sup> ) CF	2.31 $\pm$ 0.15	2.41 $\pm$ 0.07	2.40 $\pm$ 0.14	2.37 $\pm$ 0.14
肝体比/% HSI	3.41 $\pm$ 0.83 <sup>a</sup>	1.75 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>	3.20 $\pm$ 0.51 <sup>a</sup>	2.95 $\pm$ 0.34 <sup>a</sup>
脏体比/% VSI	9.34 $\pm$ 0.50 <sup>a</sup>	8.26 $\pm$ 0.71 <sup>b</sup>	9.41 $\pm$ 0.40 <sup>a</sup>	9.23 $\pm$ 0.55 <sup>a</sup>

注: 同行数据肩标不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同

Notes: In the same row, values with different letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ), the same below

表 3 发酵豆粕、肉骨粉及其混合物替代鱼粉对大口黑鲈体组成的影响 (湿重)

**Tab. 3 Effects of replacing fish meal with FSM, MBM and FSM+MBM on whole body composition of *M. salmoides* (wet weight)**

项目 items	FM	FSM	MBM	FSM+MBM
水分 moisture	704.3±8.9	704.3±7.4	692.9±5.8	697.5±3.9
粗蛋白 crude protein	167.3±4.6	166.4±1.4	166.7±2.0	171.5±3.4
粗脂肪 crude lipid	64.2±4.1	61.6±3.9	66.4±5.8	60.6±4.5
粗灰分 crude ash	38.0±1.0	36.7±1.2	40.9±0.4	40.5±1.6

显著降低 ( $P<0.05$ )。各组的蛋白质沉积率、干物质消化率和蛋白质消化率均无显著差异 ( $P>0.05$ ) (表 4)。

## 2.4 血清生化指标

与对照组相比, FSM 组的血清谷草转氨酶显著增加, 而血清总抗氧化能力以及超氧化物歧化酶、溶菌酶活性显著降低 ( $P<0.05$ )。MBM 和 FSM+MBM 组的上述指标与对照组无显著差异 ( $P>0.05$ )。此外, 各组间血清总蛋白、白蛋白和球蛋白含量无显著差异 ( $P>0.05$ ) (表 5)。

表 4 发酵豆粕、肉骨粉及其混合物替代鱼粉对大口黑鲈营养物质沉积率和表观消化率的影响

**Tab. 4 Effects of replacing fish meal with FSM, MBM and FSM+MBM on retention and apparent digestibility of nutrients of *M. salmoides***

项目 items	FM	FSM	MBM	FSM+MBM
蛋白质效率 PER	2.43±0.04 <sup>a</sup>	2.22±0.15 <sup>b</sup>	2.36±0.02 <sup>ab</sup>	2.29±0.06 <sup>ab</sup>
蛋白质沉积率/% PRR	51.04±0.61	46.78±3.48	48.66±0.15	48.46±2.74
脂肪沉积率/% LRR	70.99±1.66 <sup>ab</sup>	56.74±2.89 <sup>c</sup>	73.34±6.08 <sup>a</sup>	61.20±3.54 <sup>bc</sup>
干物质消化率/% ADDM	88.58±0.03	86.99±2.72	90.25±0.76	88.35±2.06
蛋白质消化率/% ADCP	93.59±0.01	93.32±0.57	93.56±0.23	92.90±0.65

表 5 发酵豆粕、肉骨粉及其混合物替代鱼粉对大口黑鲈血清生化指标的影响

**Tab. 5 Effects of replacing fish meal with FSM, MBM and FSM+MBM on biochemical indices in serum of *M. salmoides***

项目 items	FM	FSM	MBM	FSM+MBM
总蛋白/(g/L) TP	41.20±4.38	37.93±1.92	35.26±2.94	34.29±3.30
白蛋白/(g/L) ALB	13.74±1.16	14.36±0.51	12.57±0.68	13.52±1.32
球蛋白/(g/L) GLO	27.46±3.22	23.57±2.37	22.70±2.27	20.78±1.97
谷丙转氨酶/(U/mL) ALT	1.44±0.26 <sup>ab</sup>	1.77±0.18 <sup>a</sup>	1.35±0.13 <sup>b</sup>	1.58±0.07 <sup>ab</sup>
谷草转氨酶/(U/mL) AST	2.73±0.47 <sup>b</sup>	3.31±0.52 <sup>a</sup>	2.43±0.41 <sup>b</sup>	2.64±0.13 <sup>b</sup>
超氧化物歧化酶/(U/mL) SOD	126.98±8.19 <sup>a</sup>	105.31±9.01 <sup>b</sup>	136.29±14.94 <sup>a</sup>	133.03±11.06 <sup>a</sup>
总抗氧化能力/(U/mL) T-AOC	29.11±1.48 <sup>a</sup>	22.57±1.92 <sup>b</sup>	28.53±4.90 <sup>a</sup>	30.42±4.81 <sup>a</sup>
过氧化氢酶/(U/mL) CAT	5.80±0.93 <sup>ab</sup>	5.00±0.89 <sup>b</sup>	6.38±1.01 <sup>a</sup>	6.82±0.43 <sup>a</sup>
溶菌酶/(μg/mL) LZM	4.15±0.20 <sup>a</sup>	3.71±0.31 <sup>b</sup>	4.20±0.41 <sup>a</sup>	4.19±1.07 <sup>a</sup>

## 2.5 前肠组织学

与对照组相比, 各替代组绒毛宽度均显著降低 ( $P<0.05$ ), 但 FSM 组的绒毛高度、肌层厚度以及绒毛周长显著增加 ( $P<0.05$ ) (表 6)。各组的前肠组织切片见图版。

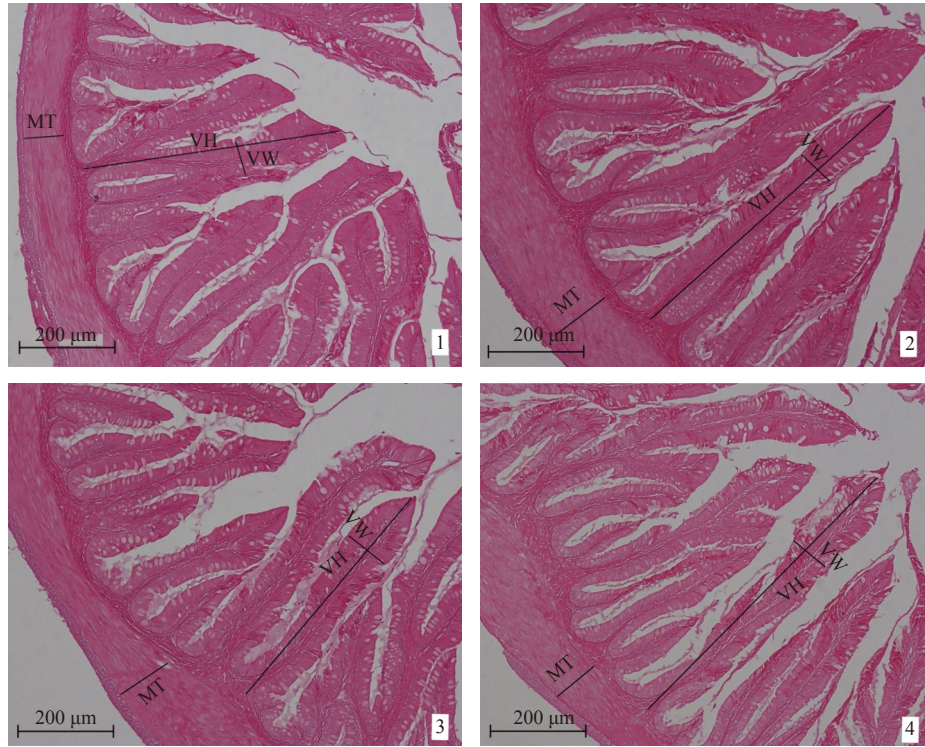
## 3 讨论

### 3.1 对大口黑鲈生长性能、营养物质利用和体成分的影响

Rahimnejad 等<sup>[19]</sup> 和 He 等<sup>[20]</sup> 报道, 发酵豆粕可以在中国花鲈 (*Lateolabrax maculatus*) 和大口黑鲈饲料 (鱼粉含量为 350 g/kg) 中替代 32.1% 和 30% 的鱼粉用量, 对增重率没有产生不利影响。马晓<sup>[11]</sup> 和 Ai 等<sup>[10]</sup> 等实验表明, 在鱼粉含量为 600 和 550 g/kg 的饲料中, 肉骨粉可以分别替代黄鳝和大黄鱼饲料中 37.5% 和 45% 的鱼粉, 不会对其生长性能有负面影响。由上述研究可知, 在多数肉食性鱼类中, 发酵豆粕和肉骨粉替代鱼粉的比例分别一般约为 30% 和 40%。本实验中发酵豆粕和肉骨粉替代了 150 g/kg 鱼粉, 相应替代比例为

表 6 发酵豆粕、肉骨粉及其混合物替代鱼粉对大口黑鲈前肠组织学的影响

Tab. 6 Effects of replacing fish meal with FSM, MBM and FSM+MBM on foregut morphology of <i>M. salmoides</i>		μm			
项目	items	FM	FSM	MBM	FSM+MBM
绒毛高度	villi height	752.6±81.2 <sup>b</sup>	835.5±59.5 <sup>a</sup>	800.4±71.3 <sup>ab</sup>	796.3±67.9 <sup>ab</sup>
绒毛宽度	villi width	119.0±13.8 <sup>a</sup>	71.7±10.8 <sup>c</sup>	90.0±11.1 <sup>b</sup>	69.8±10.4 <sup>c</sup>
肌层厚度	muscular thickness	102.3±14.0 <sup>bc</sup>	121.5±16.2 <sup>a</sup>	113.2±15.3 <sup>ab</sup>	95.6±13.8 <sup>c</sup>
绒毛周长	villus circumferences	2 169.7±373.4 <sup>b</sup>	2 874.1±274.1 <sup>a</sup>	2 391.0±291.3 <sup>ab</sup>	2 309.0±253.8 <sup>ab</sup>



图版 发酵豆粕、肉骨粉及其混合物替代鱼粉对大口黑鲈前肠形态的影响 (H.E 染色, 100×)

1. FM, 2. FSM, 3. MBM, 4. FSM+MBM; MT. 肌层厚度, VH. 绒毛高度, VW. 绒毛宽度

**Plate Foregut morphology of *M. salmoides* fed diets with FBM, MBM and FBM+MBM (H.E staining, 100×)**

1. FM, 2. FSM, 3. MBM and 4. FSM+MBM groups; MT. muscular thickness, VH. villi height, VW. villi width

42.9%，在肉骨粉组中没有对大口黑鲈生长产生不利影响，而发酵豆粕组的饲料系数则显著升高。因为各鱼粉替代组间干物质和蛋白质消化率均无显著差异，所以发酵豆粕组显著降低的蛋白质效率、脂肪沉积率，主要由于发酵豆粕组体重的下降和饲料系数的升高。在 He 等<sup>[6]</sup>对大口黑鲈的研究中，以发酵豆粕高比例替代饲料中的鱼粉，也得到了相似的结果。这可能是替代鱼粉用量过大后，鱼粉所提供的一些活性因子减少，高比例发酵豆粕存在的某些氨基酸不平衡的现象加剧，从而导致了营养物质利用率降低。总体来看，在替代较高比例鱼粉的条件下，肉骨粉的作用效果

优于发酵豆粕，可能与其作为动物蛋白源含较少的抗营养因子以及富含牛磺酸、羟脯氨酸等植物性原料易缺乏的活性成份等因素有关<sup>[21]</sup>。

此外，发酵豆粕和肉骨粉的等比例混合物组也成功替代了 150 g/kg 的鱼粉，与发酵豆粕组、肉骨粉组相比，其饲料系数介于二者之间，其增重率则显著高于发酵豆粕组，表现出了一定的协同效应。通常情况下，相较于单一植物或动物蛋白源替代，混合蛋白源替代鱼粉，营养成分相互补充，不仅可以提高替代鱼粉的比例，并且更加有利于改善养殖动物的营养物质吸收利用和机体健康。Wang 等<sup>[17]</sup>研究表明，蝇蛆粉与花生粕、玉

米蛋白粉、豆粕和谷朊粉组成的复合动植物蛋白替代鱼粉, 在相同的替代比例下, 较复合植物蛋白组具有更高的增重率。同样, 在大菱鲆的研究中, 用蚕粉和复合植物蛋白(花生粕、玉米蛋白粉、豆粕、谷朊粉)组成的动植物混合蛋白源, 替代鱼粉的效果也优于复合植物蛋白<sup>[22]</sup>。

冯建等<sup>[23]</sup>发现, 发酵豆粕替代鱼粉后会造成大黄鱼肝脏细胞损伤和组织病变, 且替代比例越高损伤越严重。本实验虽然没有检测肝脏组织学相关指标, 但发酵豆粕替代组的肝体比却显著降低, 这在 Liang 等<sup>[24]</sup>和 He 等<sup>[20]</sup>关于日本花鲈(*L. japonicus*)和大口黑鲈的研究中也出现了类似的现象。肝脏在很大程度上决定了机体的健康情况, 而肝体比是其中最直观指标之一。在哺乳动物中, 肝体比降低可能预示着出现肝脏坏死和纤维化等病理反应<sup>[25]</sup>。故推测, 本实验中植物性蛋白源用量增加可能影响了肝脏营养代谢与合成能力, 这可能是发酵豆粕组饲料利用降低的原因之一。

鱼体的常规体成分决定了鱼类的营养价值, 与其品质密切相关。在本实验中, 发酵豆粕和肉骨粉替代鱼粉对大口黑鲈的全鱼水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分均未产生影响, 这与发酵豆粕在许氏平鲈<sup>[26]</sup>、卵形鲳鲹(*T. ovatus*)<sup>[27]</sup>的研究结果, 以及肉骨粉在奥尼罗非鱼(*O. niloticus* × *O. aureus*)<sup>[28]</sup>和建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian)<sup>[29]</sup>上的研究结果相一致。然而, Liang 等<sup>[24]</sup>等研究表明, 高比例的发酵豆粕替代显著提高了日本花鲈全鱼水分, 并降低了粗蛋白和粗脂肪含量。在大黄鱼中, 高比例的肉骨粉也显著提高了全鱼水分, 降低了粗脂肪含量<sup>[10]</sup>。上述不一致的结果可能与发酵豆粕的菌种、肉骨粉来源、基础饲料配方、水产动物的种类以及生长阶段等因素有关。

### 3.2 对大口黑鲈血清生化指标的影响

鱼类的血清生化指标是反映鱼体功能和健康状况的重要参数。血清总蛋白可分为球蛋白和白蛋白两类, 前者包括含量较多具有防御功能的免疫球蛋白和补体等物质, 后者是血浆中含量最丰富的蛋白质, 反映肝脏功能的重要指标<sup>[30]</sup>; 同时, 血清转氨酶活性也是判断鱼体肝脏健康程度的指标, 当肝脏受到损伤时血液中谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性增加<sup>[31]</sup>。血清中超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性和总抗氧化能力均反映了清除机体自由基和活性氧的能力<sup>[30]</sup>。溶菌酶作为非特异性生物防御因子能对某些细菌发挥抵抗作用, 可诱

导其他免疫因子的合成和分泌<sup>[32]</sup>。在本实验中, 各替代组的血清总蛋白、白蛋白、球蛋白、谷丙转氨酶和过氧化氢酶与对照组相比均为无显著差异, 而 FSM 组的超氧化物歧化酶活性、总抗氧化能力和溶菌酶显著降低, 谷草转氨酶显著升高。Li 等<sup>[33]</sup>研究表明, 发酵豆粕替代高比例鱼粉显著降低了大菱鲆血清 SOD 活性和 T-AOC 含量。在中国花鲈<sup>[19]</sup>和凡纳滨对虾<sup>[34]</sup>的实验中也有类似结果, 这说明高比例的发 酵豆粕会可能养殖动物产生氧化应激。此外, FSM 组的血清谷草转氨酶和菌酶活性显著升高, 可能是肝脏健康情况和非特异性免疫出现异常, 这有待于今后的进一步研究。类似的结果在 Rahimnejad 等<sup>[19]</sup>和钟国防等<sup>[35]</sup>关于中国花鲈和大口黑鲈的研究中也有报道。

### 3.3 对大口黑鲈肠道形态结构的影响

肠道组织形态与其消化吸收功能密切相关。肠绒毛高度和宽度的增加可以增大与食物的接触面积, 从而促进消化, 肌层厚度则可反映肠道的收缩能力。在本实验中, 虽然各替代组的绒毛宽度均显著降低, 但 FSM 组的前肠绒毛高度、基层厚底以及绒毛周长却显著增加。在徐茜等<sup>[36]</sup>的研究中, 用发酵豆粕替代鱼粉可显著提高鲫(*Carassius auratus*)前肠绒毛高度和肌层厚度。钟国防等<sup>[35]</sup>等实验表明, 发酵豆粕适量替代鱼粉可以提高大口黑鲈的前、中和后肠绒毛高度以及后肠的肌层厚度。发酵豆粕可以在一定程度上改善鲈肠道形态结构, 这可能因为豆粕在发酵过程中会产生生物活性小肽、有机酸、益生菌以及黄酮类等活性物质。研究表明, 饲料中小肽<sup>[37]</sup>、有机酸<sup>[28]</sup>、黄酮类活性成分<sup>[38]</sup>以及甘露寡糖<sup>[39]</sup>、核苷酸<sup>[40]</sup>均可以提高水生动物肠道绒毛的高度和完整性, 促进肠道健康。但也有研究表明, 发酵豆粕替代鱼粉会引起中国花鲈和杂交鳢肠道上皮细胞损伤和肠道炎症等现象<sup>[19, 41]</sup>。值得注意的是, FSM 组的大口黑鲈肠道形态结构虽然得到改善, 但是其饲料系数仍然显著升高, 这可能与发酵豆粕的氨基酸平衡性不如鱼粉, 以及缺少牛磺酸等动物蛋白源的活性成分有关。今后, 可能通过这些活性成分的添加, 来提升发酵豆粕的营养价值, 提高其使用水平。

## 4 结论

本实验研究表明, 在鱼粉含量为 350 g/kg

的大口黑鲈饲料中, 可用肉骨粉和发酵豆粕+肉骨粉混合物(1:1, 质量比)替代150 g/kg的鱼粉用量, 不会对大口黑鲈的生长性能、饲料利用、抗氧化能力、非特异性免疫以及肠道健康产生不利影响; 发酵豆粕+肉骨粉混合物替代鱼粉的效果优于发酵豆粕。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献 (References):

- [1] 王璞, 喻一峰, 李小勤, 等. 低磷饲料中补充柠檬酸对大口黑鲈生长和营养物质利用率的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(3): 475-483.  
Wang P, Yu Y F, Li X Q, et al. Effects of citric acid supplementation in low phosphorus diets on growth and nutrient utilization of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(3): 475-483 (in Chinese).
- [2] Mukherjee R, Chakraborty R, Dutta A. Role of fermentation in improving nutritional quality of soybean meal - a review[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2016, 29(11): 1523-1529.
- [3] Wang L, Zhou H H, He R J, et al. Effects of soybean meal fermentation by *Lactobacillus plantarum* P8 on growth, immune responses, and intestinal morphology in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.)[J]. Aquaculture, 2016, 464: 87-94.
- [4] Nguyen H P, Van Do T, Tran H D. Dietary replacement of fish meal by defatted and fermented soybean meals with taurine supplementation for pompano fish: effects on growth performance, nutrient digestibility, and biological parameters in a long-term feeding period[J]. Journal of Animal Science, 2020, 98(12): skaa367.
- [5] Choi D G, He M, Fang H, et al. Replacement of fish meal with two fermented soybean meals in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Aquaculture Nutrition, 2021, 26(1): 37-46.
- [6] He M, Li X Q, Poolsawat L, et al. Effects of fish meal replaced by fermented soybean meal on growth performance, intestinal histology and microbiota of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Aquaculture Nutrition, 2020, 26(4): 1058-1071.
- [7] Hassaan M S, Soltan M A, Abdel-Moez A M. Nutritive value of soybean meal after solid state fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*[J]. Animal Feed Science and Technology, 2015, 201: 89-98.
- [8] Yao W X, Zhang C Y, Li X Q, et al. The replacement of fish meal with fermented soya bean meal or soya bean meal in the diet of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)[J]. Aquaculture Research, 2020, 51(6): 2400-2409.
- [9] Yu H R, Zhang Q, Cao H, et al. Replacement of fish meal by meat and bone meal in diets for juvenile snake-head *Ophiocephalus argus*[J]. Fisheries Science, 2015, 81(4): 723-729.
- [10] Ai Q H, Mai K S, Tan B P, et al. Replacement of fish meal by meat and bone meal in diets for large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea*[J]. Aquaculture, 2006, 260(1-4): 255-263.
- [11] 马晓. 肉骨粉替代鱼粉对黄鳝 (*Monopterus albus*) 生长性能及营养成分的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2011.  
Ma X. The effect of the meat and bone meal as protein substitutes of fish meal in diets on growth performance and proximate composition for *Monopterus albus*[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2011 (in Chinese).
- [12] Tidwell J H, Coyle S D, Bright L A, et al. Evaluation of plant and animal source proteins for replacement of fish meal in practical diets for the largemouth bass *Micropterus salmoides*[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2005, 36(4): 454-463.
- [13] 敬婷, 李洪琴, 罗莉, 等. 肉骨粉替代鱼粉对吉富罗非鱼生长、体组成、消化和非特异性免疫能力的影响[J]. 淡水渔业, 2013, 43(6): 51-56.  
Jing T, Li H Q, Luo L, et al. Replacement of fish meal by meat and bone meal in diets for GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Freshwater Fisheries, 2013, 43(6): 51-56 (in Chinese).
- [14] 宋飞, 许丹丹, 周慧慧, 等. 肉骨粉部分替代鱼粉对大菱鲂幼鱼氨基酸应答信号通路的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2016, 46(11): 117-126.  
Song F, Xu D D, Zhou H H, et al. Influence of fishmeal replacement with meat and bone meal on amino acid response signaling pathway of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.)[J]. Periodical of Ocean University of China, 2016, 46(11): 117-126 (in Chinese).
- [15] 林仕梅, 马卉佳, 徐韬, 等. 复合蛋白源替代鱼粉对杂交鳢生长、体组成与生化指标的影响[J]. 水产学报, 中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries



- 2018, 42(5): 744-753.
- Lin S M, Ma H J, Xu T, *et al.* Effects of replacing fish meal with compound proteins on the growth, body composition and biochemical indices of hybrid snakehead[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(5): 744-753 (in Chinese).
- [16] Kim K D, Jang J W, Lee K W, *et al.* The effect of a long-term dietary replacement of fishmeal with a mixture of alternative protein sources in a formulated diet on growth performance, body composition and economic efficiency of young Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*)[J]. *Aquaculture Research*, 2021, 52(5): 2004-2013.
- [17] Wang Q, He G, Mai K, *et al.* Fishmeal replacement by mixed plant proteins and maggot meal on growth performance, target of rapamycin signalling and metabolism in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L. ) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2016, 22(4): 752-758.
- [18] Burr G S, Wolters W R, Barrows F T, *et al.* Replacing fishmeal with blends of alternative proteins on growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), and early or late stage juvenile atlantic salmon (*Salmo salar*)[J]. *Aquaculture*, 2012, 334-337: 110-116.
- [19] Rahimnejad S, Zhang J J, Wang L, *et al.* Evaluation of *Bacillus pumillus* SE5 fermented soybean meal as a fish meal replacer in spotted seabass (*Lateolabrax maculatus*) feed[J]. *Aquaculture*, 2021, 531: 735975.
- [20] He M, Yu Y F, Li X Q, *et al.* An evaluation of replacing fish meal with fermented soybean meal in the diets of largemouth bass (*Micropterus salmoides*): growth, nutrition utilization and intestinal histology[J]. *Aquaculture Research*, 2020, 51(10): 4302-4314.
- [21] 麦康森, 吕美东, 何艮. 水产饲料的蛋白源问题——提高饲料蛋白质利用率新思路[J]. *饲料工业*, 2021, 42(1): 2-6.
- Mai K S, Lv M D, He G. The issue of protein sources of aquafeed—a new approach to improve utilization efficiency of feed protein[J]. *Feed Industry*, 2021, 42(1): 2-6 (in Chinese).
- [22] 魏艳洁. 复合蛋白源替代大菱鲆幼鱼 (*Scophthalmus maximus* L. ) 饲料中鱼粉的研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
- Wei Y J. Study on the effect of fishmeal replacement with compound proteins in the diet of turbot juvenile (*Scophthalmus maximus* L. ) [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015 (in Chinese).
- [23] 冯建, 王萍, 何娇娇, 等. 发酵豆粕替代鱼粉对大黄鱼幼鱼生长性能、体成分、血清生化指标及肝脏组织形态的影响[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(11): 3493-3502.
- Feng J, Wang P, He J J, *et al.* Effects of replacement of fish meal by fermented soybean meal on growth performance, body composition, serum biochemical indices and liver tissue morphology of juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(11): 3493-3502 (in Chinese).
- [24] Liang X F, Hu L, Dong Y C, *et al.* Substitution of fish meal by fermented soybean meal affects the growth performance and flesh quality of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2017, 229: 1-12.
- [25] 郭新慧, 李园利, 刘晓晓, 等. 石榴皮醇提物的急性肝毒性研究[J]. *中国现代应用药理学*, 2014, 31(6): 654-657.
- Guo X H, Li Y L, Liu X X, *et al.* Hepatotoxicity of pomegranate peel ethanol extract *in vivo*[J]. *Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy*, 2014, 31(6): 654-657 (in Chinese).
- [26] Lee S M, Azarm H M, Chang K H. Effects of dietary inclusion of fermented soybean meal on growth, body composition, antioxidant enzyme activity and disease resistance of rockfish (*Sebastes schlegeli*)[J]. *Aquaculture*, 2016, 459: 110-116.
- [27] Lin H Z, Chen X, Chen S S, *et al.* Replacement of fish meal with fermented soybean meal in practical diets for pompano *Trachinotus ovatus*[J]. *Aquaculture Research*, 2012, 44(1): 151-156.
- [28] Huan D Y, Li X Q, Chowdhury M A K, *et al.* Organic acid salts, protease and their combination in fish meal-free diets improved growth, nutrient retention and digestibility of tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2018, 24(6): 1813-1821.
- [29] 石泽. 蛋白酶、有机酸对异育银鲫 (*Carassius auratus gibelio*) 和建鲤 (*Cyprinus carpio* var. Jian) 生长、营养物质利用率的影响 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
- Shi Z. Effects of dietary protease and organic acids on growth and nutrient utilization of gibel carp, *Carassius auratus gibelio* and Jian carp, *Cyprinus carpio* var. Jian [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016 (in Chinese).
- [30] 杨航, 张国奇, 周陆, 等. 复合酶制剂对草鱼生长性能、

- 营养物质利用及肠道组织形态的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(11): 5262-5273.
- Yang H, Zhang G Q, Zhou L, *et al.* Effects of enzyme complex preparation on growth performance, nutrient utilization and intestinal tissue morphology of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(11): 5262-5273 (in Chinese).
- [31] Yang H, Bian Y H, Huang L L, *et al.* Effects of replacing fish meal with fermented soybean meal on the growth performance, intestinal microbiota, morphology and disease resistance of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. *Aquaculture Reports*, 2022, 22: 100954.
- [32] Kong X H, Wang S P, Jiang H X, *et al.* Responses of acid/alkaline phosphatase, lysozyme, and catalase activities and lipid peroxidation to mercury exposure during the embryonic development of goldfish *Carassius auratus*[J]. *Aquatic Toxicology*, 2012, 120-121: 119-125.
- [33] Li C Q, Zhang B L, Liu C D, *et al.* Effects of dietary raw or *Enterococcus faecium* fermented soybean meal on growth, antioxidant status, intestinal microbiota, morphology, and inflammatory responses in turbot (*Scophthalmus maximus* L.)[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2020, 100: 261-271.
- [34] Lin Y H, Mui J J. Comparison of dietary inclusion of commercial and fermented soybean meal on oxidative status and non-specific immune responses in white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2017, 63: 208-212.
- [35] 钟国防, 田鑫鑫, 谢春元, 等. 芽孢杆菌有氧发酵豆粕替代鱼粉对大口黑鲈幼鱼生长性能、血清生化指标及肠组织结构的影响[J]. 渔业科学进展, 2021, 42(5): 139-148.
- Zhong G F, Tian X X, Xie C Y, *et al.* Effects of replacing fish meal with *Bacillus* aerobically fermented soybean meal on the growth performance, serum biochemical indices and intestinal histology of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2021, 42(5): 139-148 (in Chinese).
- [36] 徐茜, 杨正, 朱文娟, 等. 发酵豆粕替代鱼粉对鲫鱼生长、血清生化指标及肠道结构的影响[J]. 饲料工业, 2021, 42(10): 31-37.
- Xu Q, Yang Z, Zhu W J, *et al.* Effects of fermented soybean meal instead of fish meal on growth, serum biochemical indexes and intestinal structure of *Carassius auratus*[J]. *Feed Industry*, 2021, 42(10): 31-37 (in Chinese).
- [37] Su Y N, Wu P, Feng L, *et al.* The improved growth performance and enhanced immune function by DL-methionyl-DL-methionine are associated with NF- $\kappa$ B and TOR signalling in intestine of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2018, 74: 101-118.
- [38] 胡海滨, 刘金桃, 李彦先, 等. 饲料中大豆黄酮对大菱鲆生长、消化酶活力、抗氧化力及肠道结构的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1503-1513.
- Hu H B, Liu J T, Li Y X, *et al.* Effects of dietary daidzein on growth performance, activities of digestive enzymes, anti-oxidative ability and intestinal morphology in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(9): 1503-1513 (in Chinese).
- [39] Dimitroglou A, Merrifield D L, Spring P, *et al.* Effects of mannan oligosaccharide (MOS) supplementation on growth performance, feed utilisation, intestinal histology and gut microbiota of gilthead sea bream (*Sparus aurata*)[J]. *Aquaculture*, 2010, 300(1-4): 182-188.
- [40] Guo J P, Guo B Y, Zhang H L, *et al.* Effects of nucleotides on growth performance, immune response, disease resistance and intestinal morphology in shrimp *Litopenaeus vannamei* fed with a low fish meal diet[J]. *Aquaculture International*, 2016, 24(4): 1007-1023.
- [41] Duan Z, Zhang C, Huang L, *et al.* An evaluation of replacing fish meal with fermented soybean meal in diet of hybrid snakehead (*Channa argus*  $\times$  *Channa maculata*): growth, nutrient utilization, serum biochemical indices, intestinal histology, and microbial community[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2022: 2964779.

## Effects of replacing dietary fish meal with fermented soybean meal, meat and bone meal and their mixture on growth, serum biochemical indices and intestinal histology of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)

BIAN Yuhao<sup>1,2,3</sup>, YANG Hang<sup>1,2,3</sup>, XU Xiaoying<sup>1,2,3</sup>, LIN Xia<sup>1,2,3</sup>,  
CAO Kailin<sup>1,2,3</sup>, LI Xiaoqin<sup>1,2,3</sup>, LENG Xiangjun<sup>1,2,3\*</sup>

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Centre for Research on Environmental Ecology and Fish Nutrition (CREEFN) of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** This study was conducted to investigate the effects of replacing fish meal with two protein sources individually or in combination on the growth performance, serum biochemical indices and intestinal histology of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Fermented soybean meal (FSM), meat and bone meal (MBM) and FSM + MBM mixture (1 : 1) were used to replace 150 g/kg fish meal in the control diet containing 350 g/kg fish meal, and form four isonitrogenous and isolipidic diets. Then, the four diets were fed to *M. salmoides* with initial body weight of (21.2 ± 0.1) g for 8 weeks. The results showed that, compared with the control group, the weight gain (WG) in the three fish meal-replaced groups were not significantly different, but the WG in FSM group was lower than those in FSM+MBM group. Moreover, the feed conversion ratio of FSM group was significantly higher than that of the control and MBM groups. There were no significant differences in the whole body composition (moisture, crude protein, crude lipid and crude ash contents), dry matter digestibility, protein digestibility and protein retention among all the groups, but the protein efficiency ratio and lipid retention were decreased when substituting dietary FSM for fish meal. In terms of serum biochemical indicators, FSM group displayed higher aspartate aminotransferase activity as well as lower total antioxidant capacity, superoxide dismutase and lysozyme activity than those of the control group. In foregut morphology, the intestinal villus width was reduced in all the fish meal-replaced groups, but the villus height, muscle thickness and villus circumferences in FSM group were increased compared to the control group. Overall, in a diet containing 350 g/kg fish meal, MBM and FSM+MBM mixture could replace 150 g/kg fish meal without negative effects on the growth performance, nutrient utilization, antioxidant capacity, non-specific immunity and intestinal health, and FSM+MBM mixture showed better effects than FSM as substitutes for fish meal in the feed of *M. salmoide*.

**Key words:** *Micropterus salmoides*; fermented soybean meal; meat and bone meal; growth performance; nutrient utilization; serum biochemical indices; intestinal histology

**Corresponding author:** LENG Xiangjun. E-mail: xjleng@shou.edu.cn

**Funding projects:** National Key R&D Program of China (2019YFD0900203)