

## 国产鸡肉粉替代鱼粉对大口黑鲈生长性能、肝脏健康及肠道屏障的影响

吴佳瑄<sup>1</sup>, 廖瑞生<sup>1</sup>, 况文明<sup>1</sup>, 孙皓<sup>1</sup>, 陈拥军<sup>1</sup>, 谭北平<sup>2</sup>, 林仕梅<sup>1\*</sup>

(1. 西南大学水产学院, 西南大学淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 重庆 400716;

2. 广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524088)

**摘要:** 为评价鸡肉粉替代鱼粉的可行性, 用不同水平国产鸡肉粉 (PBM) 等蛋白替代基础饲料中的鱼粉, 配制成 5 种等氮等脂的实验饲料 (对照组、PBM 12.5、PBM 25.0、PBM 37.5 及 PBM 50.0), 在室内循环系统饲喂初始体重为 (9.25±0.13) g 的大口黑鲈 8 周。结果显示, 各处理组大口黑鲈的增重率 (WGR)、特定生长率 (SGR) 和摄食率 (FR) 均无显著差异。同对照组相比, 实验组肝脏超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性显著增加, 而丙二醛 (MDA) 含量显著降低。随鸡肉粉替代水平的增加, 肝脏抗炎细胞因子基因 (*IL-10*、*TGF-β*) 相对表达量显著上调, 而促炎细胞因子基因 (*IL-8*、*TNF-α*) 相对表达量显著下调, 但肝脏的组织结构无显著临床症状变化。此外, 随替代水平的增加, 肠道抗氧化基因 (*sod*、*cat*) 和肠道紧密连接蛋白基因 (*Occludin*、*ZO-1* 和 *Claudin-1*) 相对表达量也显著上调, 而血清 *D*-乳酸 (*D-lac*) 和脂多糖 (LPS) 含量显著降低。研究表明, 鸡肉粉替代基础饲料 (基础饲料中含有 40% 的鱼粉) 50% 的鱼粉不会抑制大口黑鲈的生长, 同时还会增强鱼体的抗氧化能力和免疫力, 进而改善大口黑鲈的肝脏和肠道健康。因此, 鸡肉粉可作为大口黑鲈饲料的优质蛋白源。本研究可为合理利用肉粉提供理论依据, 同时为肉粉相关标准的制定提供数据支持。

**关键词:** 大口黑鲈; 鸡肉粉; 肝脏健康; 肠道屏障

中图分类号: S 963.7

文献标志码: A

动物蛋白是肉食性鱼类饲料中不可或缺的来源, 鱼粉作为优质的动物性蛋白, 因资源、存储以及近期国际形势的不利影响而导致其价格居高不下, 成为制约我国水产养殖业健康发展的“瓶颈”。因此, 解决优质饲用蛋白质资源严重依赖进口这一问题, 成为当今饲料工业研究的热点和主题。据 FAO 报告显示, 目前禽肉已稳居全球第一大类动物蛋白, 2020 年我国鸡肉产品约 1 485 万 t, 因此鸡肉加工的副产品资源也极为丰富。目前,

利用肉制品加工过程中产生的下脚料、残余碎肉和内脏等制成的鸡肉粉, 因具有丰富的营养价值 (粗蛋白质 60% 以上、粗脂肪约 10%、富含钙磷以及丰富的 VB、VA、VD)、消化率高、氨基酸平衡且生物转化率高等优点<sup>[1]</sup>, 深受动物性蛋白源生产市场的关注。已有研究表明, 鸡肉粉是养殖鱼类的优质动物蛋白源<sup>[2-4]</sup>, 但其添加剂量因养殖品种、肉粉来源以及加工工艺的不同而有所差异<sup>[4-6]</sup>。大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 是我国重

收稿日期: 2021-08-19 修回日期: 2021-10-11

资助项目: 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”专项 (2019YFD0900200); 重庆市技术创新与应用发展 (面上项目) (cstc2020jscx-msxmX0046); 重庆市生态渔产业技术体系 (2021)

第一作者: 吴佳瑄 (照片), 从事水产动物营养与饲料研究, E-mail: 1825986548@qq.com

通信作者: 林仕梅, 从事水产动物营养与饲料研究, E-mail: linsm198@163.com



要的经济养殖鱼类, 近年来养殖效益十分突出, 养殖产量逐年增加, 2020年产量到达50万t, 但有关鸡肉粉在大口黑鲈上的研究报道甚少。为此, 通过生长性能、肝脏健康指标以及肠道屏障等方面系统评价鸡肉粉在大口黑鲈饲料中的应用, 以期了解国产鸡肉粉的质量安全现状, 可为合理利用鸡肉粉提供理论依据, 同时为鸡肉粉相关标准的制定提供数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料

国产鸡肉粉由青岛佰伟英格生物科技有限公司提供, 主要原料为加工厂分割鸡可食用鲜肉过程中余下的部分, 采用湿法工艺生产(原料进入蒸

煮器高温蒸煮熟化, 然后经压力脱脂脱水, 干燥而成), 主要质量指标为粗蛋白62.00%、粗脂肪10.00%、赖氨酸3.67%、蛋氨酸1.23%, 胃蛋白酶消化率87.5%、酸价4.2 mg/g (KOH)、挥发性盐基氮72 mg/100 g。以秘鲁蒸汽鱼粉、豆粕、棉籽蛋白、小麦面筋蛋白为蛋白源, 鱼油、豆油为脂肪源配制基础饲料, 分别用鸡肉粉替代0% (对照)、12.5% (PBM 12.5)、25.0% (PBM 25.0)、37.5% (PBM 37.5) 和50.0% (PBM 50.0) 秘鲁蒸汽鱼粉, 配制5种等氮等脂的实验饲料(粗蛋白49%, 粗脂肪11%) (表1)。除对照组外, 在其余饲料中补充赖氨酸和蛋氨酸, 使得实验饲料中二者的含量一致, 饲料配方及营养水平见表2。饲料原料粉碎过80目筛, 逐级稀释混匀后制成3 mm的颗粒饲料, 经过自然风干后, 于4 °C冰箱冷藏备用。

表1 实验饲料成分及营养水平 (风干基础)  
**Tab. 1 Composition and nutrient levels of test diets (air-dry basis)** %

项目 items	组别 groups				
	对照 control	PBM 12.5	PBM 25.0	PBM 37.5	PBM 50.0
<b>原料 ingredient</b>					
秘鲁蒸汽鱼粉 Peru steam fish meal	40.00	35.00	30.00	25.00	20.00
国产鸡肉粉 domestic poultry by-product meal	0.00	5.28	10.56	15.84	21.12
豆粕 soybean meal	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50
棉籽蛋白 cottonseed protein	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
小麦面筋蛋白 wheat gluten	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
面粉 flour	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
鱼油 fish oil	2.00	2.40	2.80	3.20	3.60
大豆卵磷脂 soy lecithin	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
鸡油 chicken oil	0.00	1.80	1.20	0.60	0.00
豆油 soybean oil	4.00	1.66	1.68	1.70	1.71
维生素预混料 vitamin premix <sup>1)</sup>	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
矿物质预混料 mineral premix <sup>2)</sup>	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
氯化胆碱 choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
微晶纤维素 microcrystalline cellulose	2.00	1.54	1.12	0.71	0.30
赖氨酸 lysine	0.00	0.23	0.46	0.69	0.92
蛋氨酸 methionine	0.00	0.09	0.18	0.26	0.35
<b>营养成分 nutritional levels</b>					
粗蛋白 crude protein	49.42	49.42	49.41	49.41	49.41
粗脂肪 crude lipid	11.31	11.35	11.35	11.36	11.35
粗灰分 crude ash	11.45	11.44	11.92	12.06	12.38

注: 1) 维生素预混料, 维生素A 18 mg/kg, 维生素D<sub>3</sub> 5 mg/kg, 维生素E 150 mg/kg, 维生素C 500 mg/kg, 维生素B<sub>1</sub> 16 mg/kg, 维生素B<sub>6</sub> 20 mg/kg, 维生素B<sub>12</sub> 6 mg/kg, 维生素K<sub>3</sub> 18 mg/kg, 核黄素40 mg/kg, 肌醇320 mg/kg, 泛酸60 mg/kg, 烟酸80 mg/kg, 叶酸5 mg/kg, 生物素2 mg/kg, 乙氧基喹啉100 mg/kg。2) 矿物质预混料, 钠30 mg/kg, 钾50 mg/kg, 镁100 mg/kg, 铜4 mg/kg, 铁25 mg/kg, 锌35 mg/kg, 锰12 mg/kg, 碘1.6 mg/kg, 硒0.2 mg/kg, 钴0.8 mg/kg。  
 Notes: 1) vitamin premix, VA 18 mg/kg, VD<sub>3</sub> 5 mg/kg, VE 150 mg/kg, VC 500 mg/kg, VB<sub>1</sub> 16 mg/kg, VB<sub>6</sub> 20 mg/kg, VB<sub>12</sub> 6 mg/kg, VK<sub>3</sub> 18 mg/kg, riboflavin 40 mg/kg, inositol 320 mg/kg, calcium-D-pantothenate 60 mg/kg, niacinamide 80 mg/kg, folic acid 5 mg/kg, biotin 2 mg/kg, ethoxyquin 100 mg/kg. 2) mineral premix, Na 30 mg/kg, K 50 mg/kg, Mg 100 mg/kg, Cu 4 mg/kg, Fe 25 mg/kg, Zn 35 mg/kg, Mn 12 mg/kg, I 1.6 mg/kg, Se 0.2 mg/kg, Co 0.8 mg/kg.

表 2 不同水平鸡肉粉饲料中氨基酸组成及含量 (干物质)

氨基酸 amino acid	组别 groups				
	对照 control	PBM 12.5	PBM 25.0	PBM 37.5	PBM 50.0
天门冬氨酸 Asp	3.96±0.17	3.92±0.18	4.05±0.15	3.88±0.19	3.85±0.12
谷氨酸 Glu	8.21±0.34	7.88±0.36	8.22±0.30	7.80±0.38	7.78±0.25
丝氨酸 Ser	1.94±0.08	1.89±0.09	1.98±0.07	1.80±0.09	1.76±0.06
甘氨酸 Gly	2.47±0.10	2.40±0.11	2.48±0.09	2.42±0.12	2.41±0.08
丙氨酸 Ala	2.47±0.10	2.40±0.11	2.45±0.09	2.27±0.11	2.22±0.07
脯氨酸 Pro	2.31±0.10	2.29±0.11	2.37±0.09	2.38±0.12	2.40±0.08
酪氨酸 Tyr	1.41±0.06	1.35±0.06	1.36±0.05	1.36±0.07	1.34±0.04
组氨酸 His	1.08±0.04	1.25±0.06	1.29±0.05	1.22±0.06	1.20±0.04
精氨酸 Arg	3.52±0.15	3.43±0.16	3.50±0.13	3.44±0.17	3.46±0.11
苏氨酸 Thr	1.80±0.08	1.78±0.08	1.82±0.07	1.58±0.08	1.54±0.05
缬氨酸 Val	2.12±0.09	2.08±0.10	2.10±0.08	2.02±0.10	2.01±0.06
蛋氨酸 Met	0.85±0.04	0.86±0.04	0.87±0.03	0.84±0.04	0.87±0.02
异亮氨酸 Ile	1.81±0.08	1.79±0.08	1.80±0.07	1.74±0.09	1.73±0.06
亮氨酸 Leu	3.16±0.13	3.09±0.14	3.14±0.11	3.00±0.15	2.96±0.09
苯丙氨酸 Phe	2.09±0.09	2.04±0.09	2.09±0.08	1.97±0.10	1.97±0.06
赖氨酸 Lys	2.87±0.12	2.83±0.13	2.92±0.11	2.95±0.15	2.93±0.10
TAA	42.07±1.77	41.29±1.90	42.62±1.56	40.65±1.99	40.40±1.29
EAA	14.76±0.62	14.48±0.12	14.73±0.19	14.13±0.30	14.10±0.08
SEAA	4.55±0.19	4.68±0.04	4.76±0.06	4.62±0.10	4.56±0.03
NEAA	22.77±0.96	22.14±0.18	22.82±0.30	21.90±0.46	21.74±0.13

注: TAA. 总氨基酸, EAA. 必需氨基酸, SEAA. 半必需氨基酸, NEAA. 非必需氨基酸。

Notes: TAA. total amino acid, EAA. essential amino acid, SEAA. semi-essential amino acid, NEAA. non-essential amino acid.

## 1.2 饲养管理

实验用大口黑鲈苗种来自重庆市涪陵区鱼种场, 商品饲料驯化 10 d, 禁食 24 h, 用 0.01% MS-222 麻醉后称重。随机取健康、规格基本一致的大口黑鲈 [初始体重 (9.25±0.13 g)] 分为 5 个处理组, 每个处理组设 3 个重复, 每个重复 30 尾鱼, 在室内淡水循环养殖系统 (有效容积为 200 L) 中饲养 8 周。每日投喂 2 次 (8: 30 和 18: 30), 投饲量为鱼体重的 3%~5%。养殖水源为曝气自来水, 养殖水温为 25~29 °C, pH 为 6.7~7.2, 溶解氧 > 7.0 mg/L, 氨氮 < 0.1 mg/L, 亚硝酸盐氮 < 0.01 mg/L, 硫化物浓度 < 0.05 mg/L, 光周期 (L : D) 为 12/12。

## 1.3 样品的制备与分析

**样品采集** 养殖实验结束禁食 24 h 后, 用 0.01% MS-222 麻醉后称重, 并统计每个养殖桶内大口黑鲈尾数。每个重复随机选取 3 尾鱼用于全鱼常规成分的测定。每个重复随机取 5 尾鱼, 测量体重、体长, 在冰盘上解剖并分离出内脏团、肝脏和肠道后称重, 用于形体指标的测定, 随后

将肝脏、肠道组织迅速收集, 液氮速冻后于 -80 °C 冰箱中保存备用。每个重复随机取 5 尾鱼, 用一次性注射器于尾静脉取血, 置于 4 °C 冰箱过夜后 4 000 r/min 离心 10 min, 收集血清, -80 °C 冰箱中保存备用。每个重复随机取 3 尾鱼, 分离出肝脏, 在相同部位切取约 1 cm<sup>3</sup> 的肝脏, 用于石蜡组织切片。每个重复随机取 6 尾鱼, 于无菌操作台上处死, 使用预先去除 RNA 酶并灭菌的解剖器材解剖, 取出大口黑鲈的肝脏及肠道, 在相同部位取约 3 mm<sup>3</sup> 的肝脏及肠道组织样品, 置于含有 500 μL RNA 保护剂 (TaKaRa, 日本) 的无 RNA 酶的无菌离心管中, 液氮速冻后 -80 °C 冰箱中保存, 用于基因相对表达量的测定。实验过程中操作人员严格遵守实验动物伦理规范, 并按照实验动物伦理委员会制定的规章制度执行。

**饲料、全鱼常规营养成分的测定** 采用国际通用标准方法对饲料、全鱼常规营养成分进行测定。水分含量采用 105 °C 烘干恒重法测定; 粗蛋白质含量采用凯式定氮法测定; 粗脂肪含量采用索式抽提法测定; 粗灰分含量采用 550 °C 马

弗炉煅烧法测定; 肝脏脂肪含量采用氯仿-甲醇法测定; 肝脏糖原采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定, 测定方法参照试剂盒说明书进行。

**抗氧化及代谢指标测定** 超氧化物歧化酶(SOD)活性(WST-1法)、过氧化氢酶(CAT)活性(钼酸铵法)以及丙二醛(MDA)含量(TBA法), 血清D-乳酸(D-lac)含量(ELISA)、二胺氧化酶(DAO)活性(ELISA)、脂多糖(LPS)活性(ELISA)均采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定, 具体测定方法参照试剂盒说明书进行。

**肝脏组织学切片** 分离出肝脏, 在相同部位切取约1 cm<sup>3</sup>的肝脏组织, 用于石蜡组织切片, 并用苏木精-伊红染液(H.E)染色。在光学显微镜(OLYMPUS, DP73, 尼康, 日本)下观察。

**抗氧化、免疫及代谢相关基因表达分析** 肝脏及肠道总RNA使用RNAiso Plus试剂(TaKaRa, 日本)提取, 使用NanoDrop2000超微量分光光度计(Thermo Fisher, 美国)测定总RNA浓度。随后使用反转录试剂盒FastKing-RT SuperMix(天根生

化科技有限公司, 北京)将提取的总RNA反转录为cDNA, 并用DEPC水进行稀释后置于-20 °C保存备用。实时荧光定量PCR(RT-PCR)的体系为20 μL, 其中上下游引物各1 μL、cDNA 2 μL、10 μL 2×NovoStart SYBR qPCR SuperMix Plus(Novoprotein, 上海)和DEPC水6 μL。定量仪器为实时定量PCR仪(Bio-rad - CFX96)。实时定量PCR的程序为95 °C持续1 min, 1个循环; 95 °C持续20 s, 60 °C持续1 min, 共计40个循环。之后, 进行熔解曲线以检验每个PCR反应只有1个PCR产物。引物序列于NCBI设计, 见表3。通过4倍或2倍梯度稀释得到6个不同浓度的cDNA, 以每个浓度cDNA为模板, 通过定量PCR得出每对引物每个浓度cDNA的C<sub>t</sub>值, 以C<sub>t</sub>值为纵坐标, lg(模板拷贝数)为横坐标, 拟合得到一条C<sub>t</sub>值随拷贝数变化而变化的直线, 据拟合得到的直线斜率(Slope)和E=[10<sup>(-1/Slope)</sup>-1]×100%, 得出对引物的扩增效率(E)。采用pfaffl方法测定目的基因的表达量<sup>[7]</sup>。

表3 实时荧光定量(RT-PCR)引物设计序列

Tab. 3 Primers pair sequences for real-time PCR

基因 gene	上游引物(5'-3') forward primer (5'-3')	下游引物(5'-3') reverse primer (5'-3')	登录号 GenBank no.
<i>cat</i>	TGGTGTTCACGGATGAGATGG	GGAGAAGCGGACAGCAATAGG	XM_038704976.1
<i>sod</i>	CCACCAGAGGTCTCACAGCA	CCACTGAACCGAAGAAGGACT	XM_038713969.1
<i>IL-10</i>	CGGCACAGAAATCCAGAGC	CAGCAGGCTCACAAAATAAACATCT	XM_038696252.1
<i>TGF-β</i>	GCTCAAAGAGAGCGAGGATG	TCCTTACCATTGCAATCC	XM_038693206.1
<i>IL-1β</i>	CGTGACTGACAGCAAAAAGAGG	GATGCCAGAGCCACAGTTC	XM_038733429.1
<i>IL-8</i>	CGTTGAACAGACTGGGAGAGATG	AGTGGGATGGCTTCATTATCTTGT	XM_038704088.1
<i>TNF-α</i>	CTTCGTCTACAGCCAGGCATCG	TTTGGCACACCGACCTCACC	XM_038710731.1
<i>Claudin-1</i>	CCAGGGAAGGGGAGCAATG	GCTCTTTGAACCAAGTGCAC	XM_038713307.1
<i>Occludin</i>	GATATGGTGGCAGCTACGGT	TCCTACTGCGGACAGTGTTG	XM_038715419.1
<i>ZO-1</i>	ATCTCAGCAGGGATTGACG	CTTTTGCGGTGGCGTTGG	XM_038701018.1
<i>β-actin</i>	AAAGGGAATCGTGCGTGAC	AAGGAAGGCTGGAAGAGGG	XM_038695351.1

1.4 计算公式

特定生长率 (specific growth rate, SGR, %/d)=  
(lnW<sub>t</sub>-lnW<sub>0</sub>)/t×100%;

增重率 (weight gain rate, WGR, %)=  
[(W<sub>t</sub>-W<sub>0</sub>)/W<sub>0</sub>]×100%;

摄食率 (feeding ratio, FR, %/d)= F/[(W<sub>t</sub> +  
W<sub>0</sub>)/2 × t]×100%;

蛋白质效率 (protein efficiency ratio, PER)=  
(W<sub>t</sub>-W<sub>0</sub>)/(F×F<sub>p</sub>);

饲料系数 (feed conversion ratio, FCR)= F/  
(W<sub>t</sub>-W<sub>0</sub>);

成活率 (survival rate, SR, %)= N<sub>t</sub>/N<sub>0</sub>×100%;

脏体比 (viscera somatic index, VSI, %)= W<sub>v</sub>/W×  
100%;

肝体比 (hepatopancreas somatic index, HSI,  
%)=W<sub>h</sub>/W×100%;

肥满度 (condition factor, CF, g/cm<sup>3</sup>)=W/L<sup>3</sup>×100  
式中, W<sub>t</sub>和W<sub>0</sub>分别为终末鱼体重和初始鱼

体重 (g);  $t$  为养殖实验天数 (d);  $F$  为投饲量 (g);  $N_t$  和  $N_0$  分别为终末尾数和初始尾数 (尾);  $W$  为鱼体重 (g);  $L$  为鱼体长 (cm);  $W_n$  为内脏重 (g);  $W_h$  为肝胰脏重 (g);  $F_p$  为饲料蛋白质含量 (%)。

### 1.5 数据分析

实验数据均以平均值±标准差 (mean±SD) 表示, 采用 SPSS 22.0 软件进行方差齐性检验和单因素方差分析 (One-Way ANOVA), 若达到显著水平, 则进行 Tukey 氏多重比较, 显著水平为  $P<0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 国产鸡肉粉替代鱼粉对大口黑鲈生长性能的影响

各处理组大口黑鲈终末均体重 (FBW)、WGR、SGR 以及 FR 和 FCR 均无显著差异 ( $P>0.05$ )。PBM 12.5 组 PER 显著高于对照组 ( $P<0.05$ ), 而与 PBM 25.0、PBM 37.5 和 PBM 50.0 组无组间差异。各实验组大口黑鲈的成活率均为 100% (表 4)。

表 4 国产鸡肉粉替代鱼粉对大口黑鲈生长性能的影响

Tab. 4 Effects of different levels of domestic poultry by-product meal instead of fish meal on the growth performance of *M. salmoides*

项目 items	组别 groups					
	对照 control	PBM 12.5	PBM 25.0	PBM 37.5	PBM 50.0	
初始均体重/g IBW	9.27±0.02	9.29±0.09	9.28±0.05	9.21±0.08	9.26±0.06	
终末均体重/g FBW	68.57±0.40	67.44±1.14	69.29±3.24	70.37±0.90	70.82±3.08	
增重率/% WGR	639.53±6.23	625.73±5.13	646.91±34.60	664.19±3.16	665.11±38.32	
特定增长率/(%/d) SGR	3.34±0.03	3.30±0.02	3.35±0.08	3.39±0.03	3.39±0.08	
蛋白质效率 PER	1.92±0.02 <sup>a</sup>	2.05±0.01 <sup>b</sup>	2.02±0.06 <sup>ab</sup>	2.00±0.04 <sup>ab</sup>	1.99±0.06 <sup>ab</sup>	
摄食率/(%/d) FR	2.68±0.03	2.57±0.04	2.62±0.07	2.66±0.03	2.66±0.12	
饲料系数 FCR	1.09±0.02	1.02±0.02	1.03±0.03	1.04±0.02	1.05±0.03	
存活率/% SR	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

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

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

### 2.2 国产鸡肉粉替代鱼粉对大口黑鲈体组成和形态指标的影响

大口黑鲈 CF、VSI 和 HSI 无组间差异 ( $P>0.05$ ) (表 5)。随 PBM 替代比例增加, 全鱼粗脂肪含量显著降低 ( $P<0.05$ ), 全鱼水分、粗蛋白、粗灰分以及肝糖原和肝脏脂肪含量无组间差异。

### 2.3 国产鸡肉粉替代鱼粉对大口黑鲈肝脏健康的影响

肝脏 SOD 和 CAT 酶活性随 PBM 替代比例的升高而显著增加 ( $P<0.05$ )。各实验组肝脏 MDA 含量显著低于对照组 ( $P<0.05$ ) (表 6)。

随 PBM 替代水平的增加, 肝脏促炎细胞因子 *IL-8* 和 *TNF- $\alpha$*  相对表达量显著降低 ( $P<0.05$ ) 而不影响促炎细胞因子 *IL-1 $\beta$*  的表达量。相反, 肝脏抗炎细胞因子 *IL-10* 和 *TGF- $\beta$*  的相对表达量随 PBM 水平的升高而显著增加 ( $P<0.05$ ) (图 1)。观察发现, 各实验组肝脏颜色均匀、红润, 肝脏组织未见坏死, 肝细胞体积正常, 细胞排列整齐、

结构完整, 细胞间界线明显、轮廓清晰 (图版)。

### 2.4 国产鸡肉粉替代鱼粉对大口黑鲈肠道健康的影响

随着 PBM 替代水平的增加, 肠道 SOD 和 CAT 酶活性及其基因 (*sod* 和 *cat*) 的相对表达量显著升高, 而 MDA 含量降低 ( $P<0.05$ ) (图 2)。肠道紧密连接蛋白基因 *Occludin*、*ZO-1* 和 *Claudin-1* 的相对表达量也随 PBM 替代水平的增加而显著升高 ( $P<0.05$ ) (图 3)。此外, 血清 *D-lac* 和 LPS 含量随 PBM 替代水平的增加而显著降低 ( $P<0.05$ ), 而二胺氧化酶 (DAO) 活性无组间差异 (表 7)。

## 3 讨论

本研究表明, 国产鸡肉粉替代 50% 鱼粉不会影响大口黑鲈的生长性能 (鱼粉含量 20%, 鸡肉粉含量 21.12%)。这与以往在大口黑鲈上的研究结果相似, 饲料中宠物级鸡肉粉添加量从 10% 增加到 40% (鱼粉从 30% 降低到 0) 不会对大口黑鲈的生

表 5 国产鸡肉粉替代鱼粉对大口黑鲈形态指标和体组成的影响

Tab. 5 Effects of different levels of domestic poultry by-product meal instead of fish meal on morphological indexes and body composition of *M. salmoides*

项目 items	组别 groups				
	对照 control	PBM 12.5	PBM 25.0	PBM 37.5	PBM 50.0
<b>形态指标 morphological measurements</b>					
肥满度/(g/cm <sup>3</sup> ) CF	2.37±0.12	2.39±0.20	2.35±0.17	2.29±0.22	2.26±0.15
脏体比/% VSI	9.33±1.00	8.71±0.71	8.15±0.95	8.87±1.05	8.73±1.18
肝体比/% HSI	1.58±0.17	1.51±0.10	1.41±0.04	1.40±0.15	1.38±0.09
<b>体组成 body composition</b>					
水分/% moisture	68.66±1.38	68.78±0.35	68.30±1.03	69.15±0.62	68.55±0.89
粗蛋白质/% crude protein	17.01±0.26	17.15±0.19	17.00±0.18	17.25±0.69	17.51±0.31
粗脂肪/% crude lipid	10.66±0.05 <sup>d</sup>	10.07±0.13 <sup>c</sup>	9.76±0.01 <sup>b</sup>	9.09±0.23 <sup>a</sup>	9.22±0.20 <sup>a</sup>
粗灰分/% crude ash	3.88±0.06	3.76±0.04	3.87±0.24	3.94±0.05	4.04±0.05
肝糖原/(mg/g) liver glycogen	47.96±5.02	44.48±6.22	38.83±5.21	34.51±6.64	36.52±0.78
肝脏脂肪/% liver lipid content	3.26±0.72	2.82±0.52	3.32±0.72	4.59±1.02	4.40±0.54

表 6 国产鸡肉粉替代鱼粉对大口黑鲈肝脏抗氧化能力的影响

Tab. 6 Effects of different levels of domestic poultry by-product meal instead of fish meal on hepatic antioxidant capacity of *M. salmoides*

项目 items	组别 groups				
	对照 control	PBM 12.5	PBM 25.0	PBM 37.5	PBM 50.0
超氧化物歧化酶/(U/mg prot) SOD	501.30±6.86 <sup>a</sup>	567.84±25.08 <sup>b</sup>	603.67±12.68 <sup>b</sup>	718.19±3.92 <sup>c</sup>	711.51±28.39 <sup>c</sup>
过氧化氢酶/(U/mg prot) CAT	27.10±1.36 <sup>a</sup>	33.03±0.66 <sup>b</sup>	33.65±2.66 <sup>b</sup>	35.43±1.90 <sup>b</sup>	44.60±0.92 <sup>c</sup>
丙二醛/(nmol/g prot) MDA	0.85±0.02 <sup>b</sup>	0.66±0.09 <sup>a</sup>	0.66±0.08 <sup>a</sup>	0.65±0.00 <sup>a</sup>	0.56±0.05 <sup>a</sup>

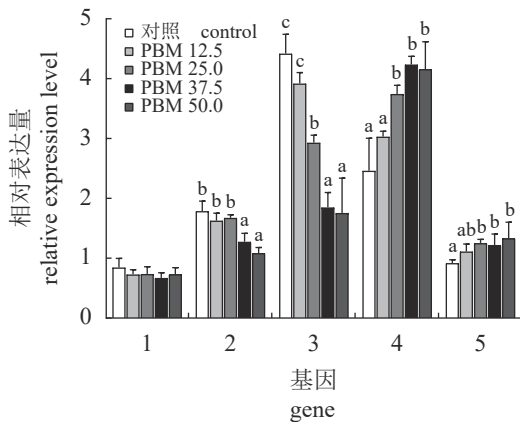


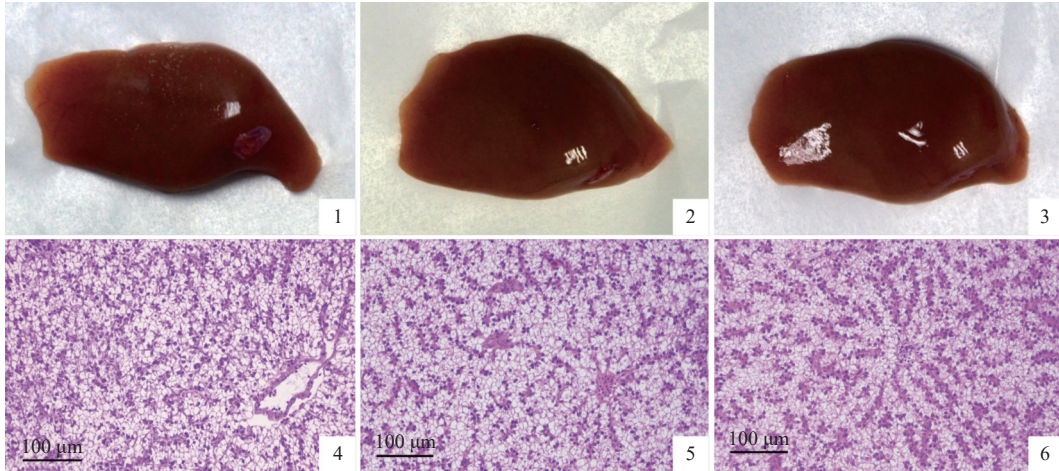
图 1 国产鸡肉粉替代鱼粉对大口黑鲈肝脏免疫基因表达水平的影响

柱状图上方不同字母表示组间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

Fig. 1 Effects of different levels of domestic poultry by-product meal instead of fish meal on the expression of immune related genes in the liver of *M. salmoides*

1. *IL-1β*, 2. *IL-8*, 3. *TNF-α*, 4. *IL-10*, 5. *TGF-β*. The different letters above the histogram indicate significant differences between groups ( $P < 0.05$ ), the same below.

长性能造成显著影响<sup>[6]</sup>。研究发现, 在卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*) 饲料中添加 18% 鸡肉粉 (鱼粉添加量降低至 22%) 也不会影响其生长和饲料利用<sup>[8]</sup>。同样, 宠物级鸡肉粉替代鱼粉比例不超过 45% 时 (鸡肉粉含量 24.38%), 对黄鳝 (*Monopterus albus*) 的生长性能以及生理功能无负面影响<sup>[9]</sup>。这些结果显示, 肉食性鱼类饲料中添加 20% 鸡肉粉或替代一定比例的鱼粉是经济可行的。但也有研究认为, 鸡肉粉可以高比例 (83%) 替代鱼粉 (鸡肉粉含量 37.5%) 而不会影响金头鲷 (*Sparus aurata*) 生长<sup>[10]</sup>。相反, 黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*) 幼鱼配合饲料中鸡肉粉替代鱼粉的最适比例仅为 20.84% (鸡肉粉含量 10.51%)<sup>[11]</sup>。尽管目前实验报道的研究结果不一致, 但可以肯定的是, 鸡肉粉可替代饲料中适宜比例的鱼粉, 其替代比例与鸡肉粉的营养组成以及鱼类对鸡肉粉的适应和消化能力有关。众所周知, 替代鱼粉对养殖鱼类来说, 存在的主要困境是限制性氨基酸缺乏、消化率低和适口性差<sup>[12-14]</sup>, 相对于鱼粉, 鸡肉粉缺乏必需氨基



图版 国产鸡肉粉替代鱼粉对大口黑鲈肝脏颜色和组织结构的影响

1. 对照组肝脏外观, 2. PBM 12.5 组肝脏外观, 3. PBM 50.0 组肝脏外观, 4. 对照组肝脏切片 (200×), 5. PBM 12.5 组肝脏切片 (200×), 6. PBM 50.0 组肝脏切片 (200×)。

**Plate Effects of different levels of domestic poultry by-product meal instead of fish meal on liver color and tissue structure of *M. salmoides***

1. liver appearance of control group, 2. liver appearance of PBM 12.5 group, 3. liver appearance of PBM 50.0 group, 4. liver section of control group (200×), 5. liver section of PBM 12.5 group (200×), 6. liver section of PBM 50.0 group (200×).

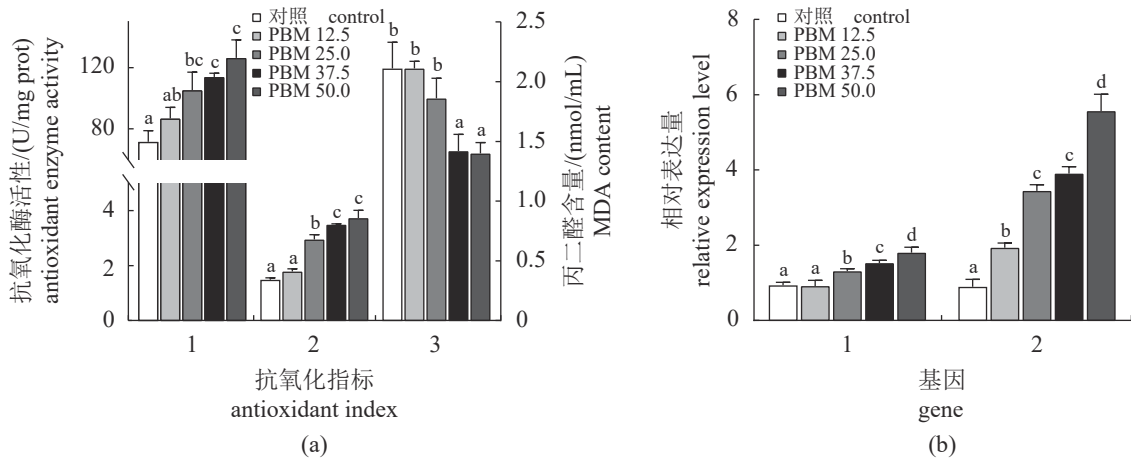


图 2 国产鸡肉粉替代鱼粉对大口黑鲈肠道抗氧化指标 (a) 及相关基因表达水平 (b) 的影响

**Fig. 2 Effects of different levels of domestic poultry by-product meal instead of fish meal on the expression of antioxidant enzymes (a) and antioxidant genes (b) in the intestinal of *M. salmoides***

(a) 1. SOD, 2. CAT, 3. MDA; (b) 1. *cat*, 2. *sod*.

酸特别是赖氨酸、蛋氨酸和异亮氨酸等<sup>[15]</sup>, 而氨基酸不平衡会抑制摄食并影响鱼类氨基酸的利用, 进而抑制鱼类生长。本研究结果显示, 不同水平鸡肉粉替代鱼粉后补充晶体氨基酸, 大口黑鲈的生长状态没有受到影响。陈乃松等<sup>[16]</sup>的研究也指出, 在低蛋白质饲料中补充晶体必需氨基酸对大口黑鲈的生长、体组成和免疫指标产生明显的有益作用。这些结果表明, 大口黑鲈具有利用结晶氨基酸的能力。本实验中各替代水平大口黑鲈的

摄食量未显著改变, 进一步证实实验饲料未影响大口黑鲈的适口性。同样, 在对金头鲷<sup>[10]</sup>、黄鳍<sup>[9]</sup>和卵形鲳鲹<sup>[17]</sup>的研究中也未发现饲料中添加鸡肉粉影响养殖鱼类摄食量的现象。

肝脏作为鱼体重要的代谢器官<sup>[18]</sup>, 维持其正常的生理功能显得尤为重要。通常研究或评价饲料蛋白源也常常关注养殖动物的肝脏功能。本研究结果表明, 饲料中鸡肉粉水平未对大口黑鲈的肝脏结构以及肝细胞形态产生显著影响, 说明替

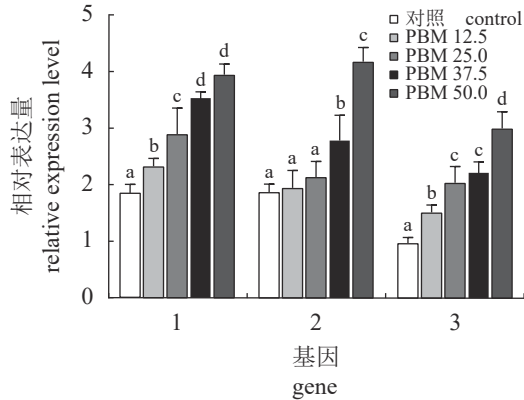


图3 国产鸡肉粉替代鱼粉对大口黑鲈肠道紧密连接蛋白基因表达量的影响

Fig. 3 Effects of different levels of domestic poultry by-product meal instead of fish meal on the expression of tight junction protein genes in the intestine of *M. salmoides*

1. *Occludin*, 2. *ZO-1*, 3. *claudin-1*

代鱼粉后大口黑鲈肝脏状况良好。研究同时发现, 增加饲料中鸡肉粉水平可显著提高肝脏抗氧化酶 (T-SOD 和 CAT) 活性, 降低 MDA 含量, 表明鸡

肉粉能够影响大口黑鲈肝脏的抗氧化能力, 可能与鸡肉粉中含有丰富的维生素 E 有关<sup>[19]</sup>。这与在黄颡鱼<sup>[11]</sup> 和肉鸡<sup>[19]</sup> 中的研究结果一致, 进一步证实了鸡肉粉不会对养殖动物的肝脏产生负面影响。马利等<sup>[6]</sup> 对大口黑鲈的研究却发现, 宠物级鸡肉粉不会显著影响鱼体总抗氧化能力, 但全部替代秘鲁鱼粉会一定程度损害大口黑鲈的肝脏结构。但也有研究指出, 饲料中鸡肉粉水平会降低卵形鲳鲹肝脏的抗氧化能力<sup>[8]</sup>。这些差异可能是由于鱼品种、饲养环境或饲料配方不同所致。深入研究发现, 鸡肉粉水平还会显著上调肝脏抗炎细胞因子基因 (*IL-10*、*TGF-β*) 相对表达量, 下调促炎细胞因子基因 (*IL-8*、*TNF-α*) 相对表达量, 说明大口黑鲈对鸡肉粉产生了适应性的免疫调节反应, 可能与鸡肉粉含有丰富的维生素 A 有关<sup>[19]</sup>。这揭示了肝脏在抗氧化能力升高的同时, 可以活化免疫细胞, 并有效调控炎症介质的释放, 缓解炎症反应造成的细胞结构损伤与功能衰退, 降低了诱发炎症反应的可能性, 进而改善大口黑鲈肝脏健康。

表7 国产鸡肉粉替代鱼粉对大口黑鲈肠道通透性的影响

Tab. 7 Effects of different levels of domestic poultry by-product meal instead of fish meal on intestinal permeability of *M. salmoides*

项目 items	组别 groups					
	对照 control	PBM 12.5	PBM 25.0	PBM 37.5	PBM 50.0	
D-乳酸(μmol/L) D-lac	555.36±12.22 <sup>b</sup>	540.81±62.70 <sup>b</sup>	290.91±6.17 <sup>a</sup>	309.82±18.66 <sup>a</sup>	367.71±1.23 <sup>a</sup>	
二胺氧化酶(U/L) DAO	18.52±1.78	19.80±1.43	17.61±2.22	19.73±1.36	17.17±1.11	
脂多糖(EU/L) LPS	307.21±23.82 <sup>b</sup>	283.65±51.81 <sup>b</sup>	292.12±10.93 <sup>b</sup>	238.85±4.31 <sup>ab</sup>	187.21±17.25 <sup>a</sup>	

肠道是动物最大的消化器官, 也是机体最重要的免疫器官, 其完整性是肠道一切生理过程正常发挥的基础<sup>[20]</sup>。通常 LPS、D-lac 和 DAO 是反映肠道通透性和肠黏膜功能的敏感指标。当肠屏障功能受损时, 这些物质穿过肠黏膜进入血液循环, 造成肠道功能损伤。而紧密连接蛋白 *Occludin*、*ZO-1* 和 *Claudin-1* 是构成肠黏膜屏障的主要成分, 一定程度上反映肠道屏障的保护功能<sup>[21-22]</sup>。本研究结果显示, 饲料中鸡肉粉水平会显著提升肠道抗氧化能力 (T-SOD、CAT 活性升高, MDA 含量降低)。同时, 肠道抗氧化基因 (*sod*、*cat*) 和肠道紧密连接蛋白基因 (*Occludin*、*ZO-1* 和 *Claudin-1*) 相对表达量也显著上调, 而血清 D-lac 和 LPS 含量显著降低。这表明鸡肉粉可以增加肠道抗氧化能力, 减少促炎介质, 从而增

强肠道屏障功能<sup>[23]</sup>。已有研究指出, 鸡肉粉会影响养殖鱼类肠道微生物<sup>[10]</sup>, 全部替代秘鲁鱼粉会损伤肠道的形态组织结构<sup>[6]</sup>。关于动物蛋白源 (如鸡肉粉) 对水产动物肠道结构以及微生物影响的研究报道较少。养殖鱼类肠道指标也为今后蛋白源的科学评价提供了新的思路。

综上所述, 国产鸡肉粉替代基础饲料 (基础饲料中含有 40% 的鱼粉) 50% 的鱼粉不会影响大口黑鲈的生长性能, 还会增强鱼体的抗氧化能力和免疫力, 调节肠道屏障的保护功能, 进而改善大口黑鲈的肝脏和肠道健康。因此, 鸡肉粉可以作为大口黑鲈饲料的优质蛋白源。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)



## 参考文献 (References):

- [1] 吕景旭, 郭伟东. 鸡肉粉的饲用营养价值[J]. 中国饲料, 1995(13): 25-26.  
Lv J X, Guo W D. Dietary nutritional value of poultry by-product meal[J]. China Feed, 1995(13): 25-26 (in Chinese).
- [2] Zhou Z Y, Yao W, Ye B, *et al.* Effects of replacing fishmeal protein with poultry by-product meal protein and soybean meal protein on growth, feed intake, feed utilization, gut and liver histology of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂) juveniles[J]. *Aquaculture*, 2020, 516: 734503.
- [3] Dawood M A O, Magouz F I, Mansour M, *et al.* Evaluation of yeast fermented poultry by-product meal in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) feed: effects on growth performance, digestive enzymes activity, innate immunity, and antioxidant capacity[J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 2020, 6: 516.
- [4] Shapawi R, Ng W K, Mustafa S. Replacement of fish meal with poultry by-product meal in diets formulated for the humpback grouper, *Cromileptes altivelis*[J]. *Aquaculture*, 2007, 273(1): 118-126.
- [5] Wang Z, Qian X Q, Xie S Q, *et al.* Changes of growth performance and plasma biochemical parameters of hybrid grouper (*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *Epinephelus fuscoguttatus* ♀) in response to substitution of dietary fishmeal with poultry by-product meal[J]. *Aquaculture Reports*, 2020, 18: 100516.
- [6] 马利, 穆苑, 李维, 等. 鸡肉粉替代秘鲁鱼粉对大口黑鲈生长性能、血清生化指标、肠道及肝脏组织结构的影响[J]. 动物营养学报, 2021, 33(7): 4183-4193.  
Ma L, Mu Y, Li W, *et al.* Effects of Peru fish meal replacement by pet grade chicken meal on growth performance, serum biochemical indexes, intestinal and liver Histomorphology of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(7): 4183-4193 (in Chinese).
- [7] Livak K J, Schmittgen T D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the  $2^{-\Delta\Delta C_t}$  method[J]. *Methods*, 2001, 25(4): 402-408.
- [8] 易新文, 陈瑞爱, 徐家华. 鸡肉粉替代鱼粉对卵形鲳鲈生长、饲料利用和抗氧化力的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2019, 49(12): 17-24.  
Yi X W, Chen R A, Xu J H. Effects of the poultry by-product meal replacing partially dietary fishmeal on the growth, feed utilization and anti-oxidative capacity of golden pompano *Trachinotus ovatus*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2019, 49(12): 17-24 (in Chinese).
- [9] 曹晓莉, 钟蕾, 戴振炎, 等. 宠物级鸡肉粉替代鱼粉对黄鳝生长性能、肠道消化酶活性及血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2020, 32(5): 2352-2360.  
Cao X L, Zhong L, Dai Z Y, *et al.* Effects of fish meal replacement by pet grade poultry by-product meal on growth performance, intestinal digestive enzyme activities and serum biochemical indexes of rice filed eel (*Monopterus albus*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(5): 2352-2360 (in Chinese).
- [10] Fontinha F, Magalhes R, Moutinho S, *et al.* Effect of dietary poultry meal and oil on growth, digestive capacity, and gut microbiota of gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles[J]. *Aquaculture*, 2021, 530: 735879.
- [11] 罗嘉翔, 黄文文, 袁野, 等. 鸡肉粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能、饲料利用、消化酶活性及抗氧化能力的影响[J]. 动物营养学报, 2017, 29(11): 3970-3979.  
Luo J X, Huang W W, Yuan Y, *et al.* Effects of fish meal replacement with poultry by-product meal on growth performance, feed utilization, digestive enzyme activities and antioxidant capacity of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2017, 29(11): 3970-3979 (in Chinese).
- [12] Irm M, Taj S, Jin M, *et al.* Effects of replacement of fish meal by poultry by-product meal on growth performance and gene expression involved in protein metabolism for juvenile black sea bream (*Acanthoparus schlegelii*)[J]. *Aquaculture*, 2020, 528: 735544.
- [13] Hassani M H S, Banavreh A, Jourdehi A Y, *et al.* The feasibility of partial replacement fish meal with poultry by - products in practical diets of juvenile great sturgeon, *Huso huso*: effects on growth performance, body composition, physiometabolic indices, digestibility and digestive enzymes[J]. *Aquaculture Research*, 2021, 52(8): 3605-3616.
- [14] Wang Y, Ma X Z, Wang F, *et al.* Supplementations of poultry by - product meal and selenium yeast increase fish meal replacement by soybean meal in golden pompano (*Trachinotus ovatus*) diet[J]. *Aquaculture Research*, 2017, 48(4): 1904-1914.

- [15] 王小城, 张新节, 高巍. 鸡肉粉和猪肉粉在水产饲料中的应用[J]. 饲料博览, 2019(3): 44-46,50.  
Wang X C, Zhang X J, Gao W. The application of poultry by-product meal and pork meal in aquatic feed[J]. Feed Review, 2019(3): 44-46,50 (in Chinese).
- [16] 陈乃松, 梁勤朗, 肖温温, 等. 在低蛋白质饲料中补充必需氨基酸对大口黑鲈生长、体组成和免疫指标的影响[J]. 水生生物学报, 2014, 38(2): 262-271.  
Chen N S, Liang Q L, Xiao W W, *et al.* Effects of supplementing EAA to lower protein diets on growth, body composition and immunological index of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2014, 38(2): 262-271 (in Chinese).
- [17] 胡海滨, 解绶启, 钱雪桥, 等. 饲料中添加玉米蛋白粉或鸡肉粉替代部分鱼粉对卵形鲳鲷生长性能的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(6): 2752-2764.  
Hu H B, Xie S Q, Qian X Q, *et al.* Effects of dietary corn gluten meal or poultry meal partially replacing fish meal on growth performance of golden pompano (*Trachinotus ovatus*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(6): 2752-2764 (in Chinese).
- [18] Randazzo B, Zarantoniello M, Gioacchini G, *et al.* Physiological response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to graded levels of *Hermetia illucens* or poultry by-product meals as single or combined substitute ingredients to dietary plant proteins[J]. *Aquaculture*, 2021, 538: 736550.
- [19] 陈星, 吴大伟, 周岩民. 肉粉替代鱼粉对肉鸡生产性能、血清生化指标和抗氧化功能的影响 [C]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会第十一次全国动物营养学术研讨会论文集. 长沙: 中国畜牧兽医学会, 2012.  
Chen X, Wu D W, Zhou Y M. Influence of meat meal instead of fish meal on growth performance, serum biochemical indices and antioxidant function of broilers[C]//Proceedings of National Animal Nutrition Symposium of Animal Nutrition Branch of Chinese Animal Husbandry and Veterinary Society. Changsha: Chinese Association of Animal Science and Veterinary Medicine, 2012 (in Chinese).
- [20] 王惠云, 向阳葵, 吴淑军. 锌对断奶仔猪肠道屏障功能的影响[J]. 饲料研究, 2021, 44(13): 106-109.  
Wang H Y, Xiang Y K, Wu S J. Effect of zinc on the intestinal barrier function of weaned piglets[J]. Feed Research, 2021, 44(13): 106-109 (in Chinese).
- [21] Papadimitriou E, Loumbourdis N S. Exposure of the frog *Rana ridibunda* to copper: impact on two biomarkers, lipid peroxidation, and glutathione[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2002, 69(6): 885-891.
- [22] Xiao J, Zhang R F, Wu Y J, *et al.* Rice bran phenolic extract protects against alcoholic liver injury in mice by alleviating intestinal microbiota dysbiosis, barrier dysfunction, and liver inflammation mediated by the endotoxin-TLR4-NF- $\kappa$ B pathway[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, 68(5): 1237-1247.
- [23] Jiang W H, Zhu H K, Xu W Q, *et al.* *Echinacea purpurea* polysaccharide prepared by fractional precipitation prevents alcoholic liver injury in mice by protecting the intestinal barrier and regulating liver-related pathways[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 187: 143-156.

## Effects of replacing fish meal with domestic poultry by-product meal on growth, liver health and intestinal barrier of *Micropterus salmoides*

WU Jiakuan<sup>1</sup>, LIAO Ruisheng<sup>1</sup>, KUANG Wenming<sup>1</sup>, SUN Hao<sup>1</sup>,  
CHEN Yongjun<sup>1</sup>, TAN Beiping<sup>2</sup>, LIN Shimei<sup>1\*</sup>

(1. Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education, College of Fisheries,  
Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

**Abstract:** Animal protein is an indispensable source in the feed of carnivorous fish. Fish meal, as a high-quality animal protein, has high price and limited source due to the adverse impact of resources, storage and recent international situation. Because of its rich nutritional value, high digestibility, balanced amino acids and high biological conversion rate, poultry by-product meal has attracted much attention from the animal protein source production market. Therefore, the application effect of poultry by-product meal in the feed of *Micropterus salmoides* was systematically evaluated in order to understand the quality and safety of domestic poultry by-product meal, and to provide a theoretical basis for rational use of meat meal. To evaluate the feasibility of replacing fish meal with poultry by-product meal, five isonitrogen-isolipid experimental diets (control, PBM 12.5, PBM 25.0, PBM 37.5, PBM 50.0) were formulated. *M. salmoides* [initial body weight (9.25±0.13) g] was fed the system for 8 weeks. The results showed that there was no significant difference in the weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR) and feeding ratio (FR) of each group during the breeding period of *M. salmoides*. Compared with the control group, the activities of total superoxide dismutase (T-SOD) and catalase (CAT) of all experimental groups in liver were significantly increased, while the content of malondialdehyde (MDA) was significantly decreased. With the increase of replacement level, the relative expression levels of anti-inflammatory cytokines (*IL-10*, *TGF-β*) in liver were significantly up-regulated, while the relative expression levels of pro-inflammatory cytokines (*IL-8*, *TNF-α*) were significantly down-regulated, but had no significant effect on the clinical symptoms of liver tissue structure. In addition, with the increase of replacement level, the relative expression levels of intestinal antioxidant genes (*sod* and *cat*) and intestinal tight junction protein genes (*Occludin*, *ZO-1* and *Claudin-1*) were significantly up-regulated, while the contents of *D*-lactate (*D-lac*) and lipopolysaccharide (LPS) in serum were significantly decreased. In conclusion, replacing 50% fish meal with poultry by-product meal in the basal diet (40% fish meal) did not inhibit the growth of largemouth bass, but also it can enhance the antioxidant capacity and immunity of fish, and improve the liver and intestinal health of *M. salmoides*. Therefore, poultry by-product meal can be used as a high quality protein source for *M. salmoides* feed.

**Key words:** *Micropterus salmoides*; poultry by-product meal; liver health; intestinal barrier

**Corresponding author:** LIN Shimei. E-mail: linsm198@163.com

**Funding projects:** the Blue Granary Project of National Key R & D Program of China (2019YFD0900200); Chongqing Technology Innovation and Application Development (General Project) (cstc2020jscx-msxmX0046); Chongqing Ecological Fishery Industry Technical System (2021)